Kosmos Elektronik-Labor

E200

Super Labor

Der umfassende, moderne Experimentalkurs erschließt die faszinierende Welt der Elektronik.



Franckh'sche Verlagshandlung Stuttgart

kosmo tronik system

kosmos®

Elektronik-Labor E 200

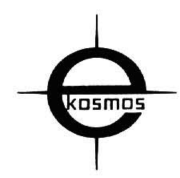
Super-Labor

Der umfassende, moderne Experimentalkurs erschließt die faszinierende Welt der Elektronik.

Das große Versuchsprogramm für Anfänger und Fortgeschrittene, für Laien und Hobby-Elektroniker: Radiotechnik, NF-Technik, spezielle HF-Technik, Analogrechnertechnik, elektronische Spiele, Digitaltechnik, Opto-Elektronik, Operationsverstärkertechnik, Meßtechnik, UKW-Versuche.

Zum Experimentieren werden sechs Batterien gebraucht, die dem Kasten wegen ihrer begrenzten Lagerfähigkeit nicht beigegeben sind, und zwar **sechs Baby-Zellen Typ IEC R 14** zu je 1,5 Volt (z. B. DAIMON Nr. 211).

Anstelle der Batterien kann auch das **KOSMOS Netzgerät KOSMOTRON**® A (Bestell.-Nr. 66 3011) verwendet werden.



Franckh'sche Verlagshandlung Stuttgart

3. Auflage
Franckh'sche Verlagshandlung, W. Keller & Co.,
Stuttgart/1981

Technische Bildgestaltung: KOSMOS-Entwicklungslabor und G. Bosch. Textillustration von A. Bott
Ausarbeitung des Textes, der Schaltungen und Versuche sowie Konstruktion der Experimentierausrüstung: KOSMOS-Entwicklungslabor
Printed in Germany/Imprimé en Allemagne/L 65 H hc
Gesamtherstellung: Konrad Triltsch, Graphischer Betrieb, Würzburg

KOSMOS Elektronik-Labor E 200

Der Erfolg ist vorprogrammiert . . .

wenn man beachtet, daß dieses Experimentierbuch aus fünf Teilen aufgebaut ist.

In Teil I werden die Grundlagen der Elektronik anhand hochinteressanter Experimente behandelt.

In Teil II findet sich eine Sammlung von Schaltungsknüllern und Geräte-Bauanleitungen.

Teil III enthält alles Wissenswerte über den Zusammenbau des supermodernen Chassis.

Im Teil IV wird gesagt, wie die Bauteile des Elektronik-Labors behandelt werden müssen, wie sie gekennzeichnet sind und was man unbedingt über sie wissen sollte.

Im Teil V werden UKW-Empfangsversuche durchgeführt.

In welcher Reihenfolge man sich mit den Kapiteln beschäftigt, wird vom jeweiligen Wissensstand abhängen. Wenn man sich allerdings zuerst die Abschnitte III und IV zu Gemüte führt (und damit das Chassis und die Bauteile kennenlernt), ist – wie oben schon gesagt – der Erfolg absolut sicher.

Im Schlagwortverzeichnis am Ende dieses Buches findet man außerdem alle Hinweise, wo Begriffe und Bauteile erklärt sind oder behandelt werden.

Wir wünschen allen unseren Freunden vergnügliche und nutzbringende Stunden mit dem KOSMOS Elektronik-Labor E 200!

Teil I. Einführung in die Elektronik

1. Zwei elektronische Geräte, die man sofort aufbauen kann

1.1 Mitten hinein in die Elektronik

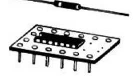
soll uns dieses Experimentierbuch führen, und zwar auf dem kürzesten und interessantesten Weg. Wir wollen uns nicht durch langatmige Erklärungen aufhalten lassen, sondern sofort mit dem Experimentieren beginnen. Schon die ersten Versuche zeigen uns, daß man mit wenigen Bauteilen interessante elektronische Schaltungen aufbauen kann. Mit jedem weiteren Experiment wachsen praktische Erfahrung und theoretisches Wissen, so daß wir am Ende aller hier beschriebenen Versuchsreihen in der Elektronik zu Hause sind.

Einige der elektronischen Bauteile sind empfindlich, sie nehmen eine falsche Behandlung übel. Folgende Bauelemente dürfen niemals ohne weiteres an die Stromversorgung (Batterie oder Netzteil) angeschlossen werden (Bild 1):

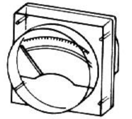
Bild 1

die Transistoren

die Germanium- und Siliziumdioden



der Operationsverstärker



das Meßinstrument



die Leuchtdioden.

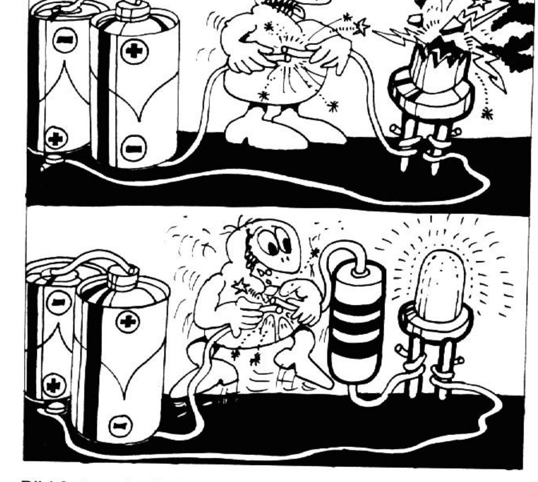


Bild 2. Leuchtdioden nie ohne Schutzwiderstand betreiben!

Die Warnung gilt besonders für die Leuchtdioden (Bild 2), die von Anfängern häufig mit Lämpchen verwechselt werden.

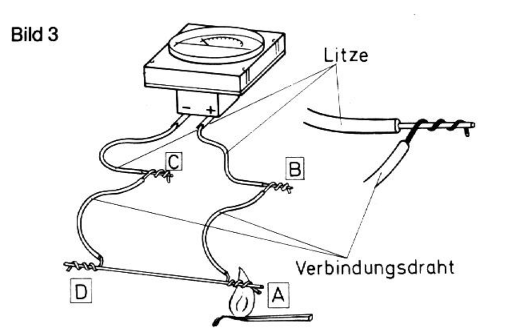
1.2. Elektronisch gemessen: Streichholz oder Feuerzeug, was ist heißer?

Mit Hilfe des Meßinstruments können Temperaturen angezeigt werden, wie sie beispielsweise im Inneren einer Flamme herrschen.

Wir bauen dazu nach Bild 3 ein elektronisches Thermometer.

Damit die Anschlußlitzen des Meßinstrumentes

Bild 3



nicht für kommende Experimente verdorben werden, schließen wir den Kupfer-Nickel-Draht (Teil 57) nicht direkt, sondern unter Zwischenschalten je eines Verbindungsdrahtes an, wobei wir die blanken Enden der Verbindungsdrähte um die verzinnten Litzenenden wickeln (nicht umgekehrt!).

Die Bezeichnungen für Plus und Minus beziehen sich auf die Markierungen auf der Rückseite des Instruments. Der Meßfühler unseres elektronischen Thermometers ist die Verbindungsstelle A. Diese Stelle wird mit Streichholz oder Feuerzeug erwärmt, dabei steigt der Zeigerausschlag innerhalb ca. 4 Sekunden auf 1 bis 2 Teilstriche. Wenn das Instrument falsch herum ausschlägt, haben wir statt bei A versehentlich bei D erhitzt.

Würde der Zeigerausschlag noch größer, wenn das Streichholz länger brennen könnte?

Wie sich mit einer Kerzenflamme nachweisen läßt, ist das nicht der Fall. Sobald die Verbindungsstelle die Temperatur der Flamme erreicht hat, bleibt der Zeigerausschlag konstant. Er entspricht also der Flammentemperatur.

Eine heißere Flamme verursacht einen größeren Ausschlag. Hält man die Verbindungsstelle A in eine Feuerzeugflamme, dann lassen sich knapp drei Teilstriche Ausschlag erreichen. Mit etwas Geschick kann man sogar innerhalb einer Flamme verschiedene Temperaturzonen nachweisen (Bild 4).

Eine Erwärmung der Verbindungsstelle D läßt den Zeiger nach links zurückwandern, wirkt also einer Erwärmung von A entgegen. Ein Rechtsausschlag des Zeigers zeigt demnach an, um wieviel A heißer ist als D.

Wie groß waren nun die angezeigten Temperaturen?

Jeder Teilstrich der Anzeige entspricht ungefähr 300 °C. Wenn D Zimmertemperatur 20 °C hat, und der Zeiger genau zwei Teilstriche ausschlägt, so

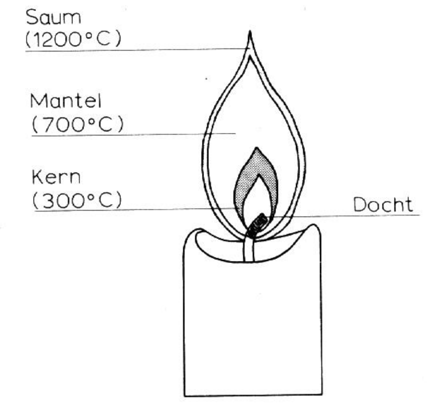


Bild 4. Verschiedene Temperaturzonen in einer Flamme

liegt die Temperatur bei A um 600 °C über der Zimmertemperatur, beträgt also 620 °C.

Wie kann ein elektrisches Meßinstrument Temperaturen anzeigen?

Bei Erwärmung zweier verschiedener Metalle verhält sich die Berührungsstelle wie eine kleine Batterie, so daß durch die Anschlußleitungen und durch das Instrument ein Strom fließt. Eine derartige Minibatterie heißt Thermoelement.

Wird die Verbindung bei C aufgetrennt, geht der Zeiger sofort auf 0 zurück. Wie bei einer Taschenlampe kann nur dann ein Strom fließen, wenn ein geschlossener Stromkreis vorhanden ist. Bei einer eingeschalteten Taschenlampe wird der Stromkreis über das Lämpchen, bei unserem Versuchsaufbau über das Meßinstrument, hergestellt.

Für Fortgeschrittene:
Pro Grad Celsius Temperaturerhöhung – oder entsprechend den SI-Einheiten je Kelvin (K) – wird ein CuNi-44-Draht um 40 Mikrovolt negativer gegenüber einem mit ihm verbundenen Kupferdraht (also −40 Mikrovolt pro K). Die Elektronen des Kupferdrahtes sind beweglicher als die der CuNi-44-Legierung. Die Erwärmung erhöht die Beweglichkeit. Dadurch können die Elektronen leichter aus dem Atomverband des Kupferdrahtes herausgelöst werden. Sie treten in den CuNi-44-Draht über. Dieser wird mit Elektronen angereichert: Er wird gegenüber dem Kupferdraht elektrisch negativer.

Im folgenden Kapitel wird eine elektronische Blinkschaltung aufgebaut. Dafür sind zunächst ein paar vorbereitende Handgriffe nötig, die in Teil III beschrieben sind:

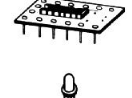
Steckfedern einsetzen, S. 186
Drahtbrücken biegen, S. 193

Widerstände biegen, S. 193
Kondensator biegen, S. 193 (S. 210)
Operationsverstärker einstecken, S. 214

1.3 Sechs Bauteile genügen: Ein elektronischer Warnblinker mit Operationsverstärker

Es werden folgende Bauteile benötigt (Bild 5):

Bild 5



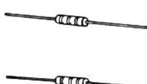
Operationsverstärker



Leuchtdiode



Kondensator 100 Nanofarad



Widerstand 1 Megohm (Farbcode: braun-schwarz-grün)
Widerstand 1,5 Kiloohm (Farbcode: braun-grün-rot)
Widerstand 150 Ohm (Farbcode: braun-grün-braun)

2 kurze und 3 lange Drahtbrücken.

Die Bauteile werden entsprechend Bild 6 eingesteckt.

Obwohl nur aus einem halben Dutzend Bauteilen bestehend, stellt unsere Warnblinkanlage eine technische Meisterleistung dar: Die Leuchtdiode geht unablässig an und aus, sie blinkt stunden-, tage-, wochen- und monatelang ohne menschliches Zutun und ohne, daß ein mechanischer Kontakt bewegt wird.

Unsere Leuchtdiode blinkt etwa zweimal pro Sekunde, d. h. sie wird 172 800mal am Tag ein- und ausgeschaltet. Würde man versuchen, eine derartige Blinkleistung mit einem herkömmlichen Lichtschalter zu erzielen – wir nehmen eine Lebensdauer von 1 Million Schaltvorgängen an – dann würde dieser nicht einmal eine Woche lang durchhalten.

Das Herz des Warnblinkers ist der Operationsverstärker. Wie er zu seinem merkwürdigen Namen gekommen ist, wie er funktioniert und wie er einsetzbar ist, wird später erklärt.

Bild 6

Als Stromquelle können 6 Baby-Zellen verwendet werden (Bild 6), oder das KOSMOS Universalnetzgerät KOSMOTRON® A, Bestell-Nr. 663011. Der Anschluß des Netzgerätes wird wie folgt vorgenommen:
Rote Leitung in Steckfeder 4
Schwarze Leitung in Steckfeder 11
Braune Leitung in Steckfeder 90

Bild 6 a. Aufbaubild Warnblinker, vgl. Bild 6.

An dieser Stelle sei so viel verraten: Der Operationsverstärker (man sagt oft kurz OP), enthält 13 Transistor-, 4 Dioden-, 2 Widerstands- und eine Kondensatorfunktion. Das Wort Funktion bedeutet in diesem Zusammenhang: Der OP enthält in seinem Innern keine einzeln zusammengelöteten Bauteile, er ist vielmehr eine integrierte Schaltung (engl.: integrated circuit = IC), bei der nach einem speziellen, hochkomplizierten Verfahren auf einem winzigen, nur wenige Quadratmillimeter großen Halbleiterkristallplättchen (Chip) die Bauteile vereint werden.

1.4 Das Schaltbild – Bauanleitung im Telegrammstil

In unserem Experimentierbuch bringen wir zu jeder Schaltung zwei verschiedene Abbildungen, und zwar Aufbaubild und Schaltbild. Das Aufbaubild soll uns den Aufbau erleichtern und zeigen, wie die Teile auf dem Chassis angeordnet sind und die Leitungen liegen sollen. Das Schaltbild zeigt in vereinfachter Weise, welche Teile zusammengeschaltet sind und nimmt dabei keine Rücksicht auf deren räumliche Lage. Es dient der Erleichterung der Funktionserklärung. Schaltbilder werden gelegentlich in der Fachliteratur auch Stromlaufpläne genannt.

Bild 7 zeigt das Schaltbild zu unserem elektronisch gesteuerten Blinklicht. Der Operationsverstärker wird durch ein Dreieck symbolisiert (Bild 8):

Dies ist zunächst verwirrend; unser Operationsverstärker ist rechteckig und hat keineswegs nur drei Anschlüsse, sondern 14 „Beine". Das Dreiecksymbol gilt in der Elektronik generell für Verstärker, des Rätsels Lösung für die Vielzahl der Beine liegt im Innern des „Käfers" verborgen.

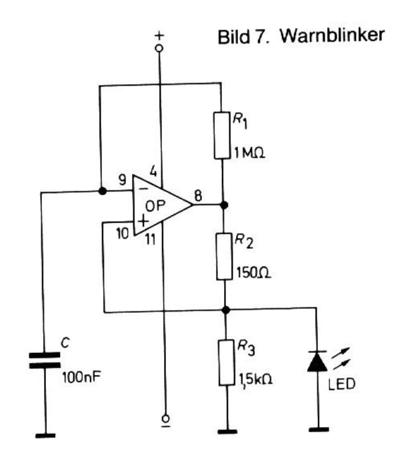


Bild 7. Warnblinker

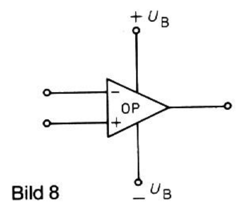
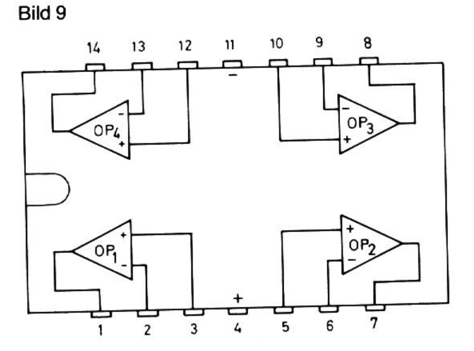


Bild 8

Bild 9



Das vierzehnbeinige schwarze Kästchen enthält nämlich sage und schreibe 4 Operationsverstärker, von denen im vorangegangenen Versuch nur ein einziger benutzt wird. Jeder Operationsverstärker hat drei Anschlüsse, die restlichen zwei dienen der gemeinsamen Stromversorgung, sie sind daher auch in unserem Schaltbild eingezeichnet. Eine vollständige schematische Darstellung des Operationsverstärker-ICs würde also aussehen wie Bild 9.

In Schaltbild 7 ist der Anschluß 8 mit zwei Bauelementen beschaltet. Der *1-Megohm-Widerstand* führt zu Anschluß 9, der *150-Ohm-Widerstand* zu Anschluß 10. Die *Leuchtdiode* führt zu einem waagerechten Balken, der die „Masse" symbolisiert. (Was dies ist, wird gleich anschließend erklärt.) Vom Punkt 9 führt ein *Kondensator*, von Punkt 10 ein *1,5-Kiloohm-Widerstand* nach „Masse". An den Anschlüssen 11 und 4 ist die Stromversorgung eingezeichnet.

1.5 Masse ohne Kilogramm

Das Wort Masse stammt aus den Zeiten von Opas „Dampfradio". Diese Geräte hatten immer ein festes und schweres Metallchassis, das mit einem Pol der Stromversorgung verbunden war. Dasselbe Prinzip finden wir heute beim Auto: Ein Blick unter die Haube zeigt, daß von einem Pol der Autobatterie ein dickes Massekabel zum Motorblock führt. Hier kann man sich unter „Masse" etwas vorstellen (Bild 10)!

Opas Radio ist verschwunden, geblieben ist in der Elektronik der Begriff der Masse. Was ist damit gemeint?

Zunächst muß klargestellt werden:

Aufgrund des Schaltbildes könnte der Eindruck

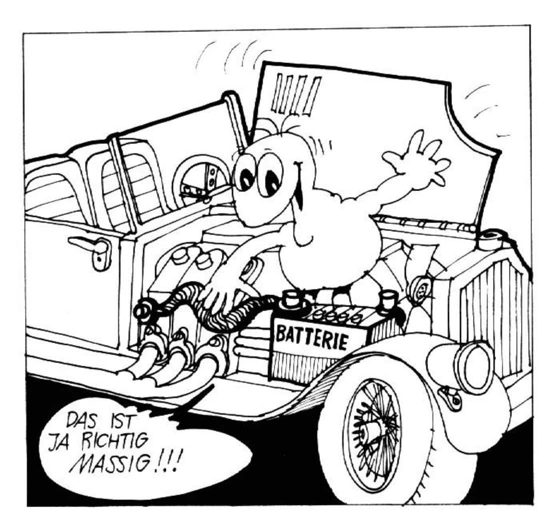


Bild 10. Beim Auto kann man sich unter Masse noch etwas vorstellen

entstehen, als würde die „Masse" an drei verschiedenen Punkten in der Luft hängen. Ein Blick auf die aufgebaute Schaltung zeigt, daß die drei Massepunkte miteinander verbunden sind und eine Leitung von der Aufbauplatte zum Kontaktstück zwischen den Batterien führt. Alles, was mit dem Massesymbol gekennzeichnet wird, ist also stets miteinander über Leitungen verbunden.

Wozu benötigen wir hier nun aber den Begriff der Masse?

Die Antwort ist einfach: als Masse legt der Elektroniker denjenigen Pol einer Batterie fest, auf den er alle seine Spannungsangaben innerhalb einer Schaltung beziehen will. Welcher Pol dies ist, spielt im Prinzip keine Rolle, allerdings hat es sich bei modernen Elektronikschaltungen eingebürgert, den Minuspol zur Masse zu erklären und alle Spannungsmessungen gegen den Minuspol (also gegen Masse) vorzunehmen.

Aus gutem Grunde haben wir den Mittenpunkt zwischen den beiden Batteriepaketen zur Masse auserwählt, so daß das linke Batteriepaket gegen Masse minus 4,5 Volt und das rechte plus 4,5 Volt hat. Unser Operationsverstärker ist nämlich ein Bauteil, das eine positive **und** eine negative Versorgungsspannung benötigt.

Nachdem wir nun gesehen haben, mit welch einfachen Mitteln sich ein interessanter Warnblinker aufbauen läßt, und außerdem wissen, was es mit dem Begriff „Masse" auf sich hat, wollen wir für die weiteren Versuche zunächst unser Experimentierchassis vollständig zusammenbauen. Wie man das macht, wird in Teil III beschrieben.

2. Die elektrische Leitung

2.1 Leiten oder nicht leiten, das ist die Frage

Elektrischen Strom kann man nicht sehen, aber seine Wirkungen z. B. durch Anzeigegeräte sichtbar machen. Dies ist in unserem ersten Versuch durch das Meßgerät, beim Warnblinker durch die Leuchtdiode erfolgt.

Für weitere Versuche bauen wir eine Meßschaltung nach Abbildung 11 und 12 auf.

Wir stecken eine Drahtbrücke zwischen x und y ein. Nach Einschalten von S_1 steht der Zeiger des Meßinstrumentes irgendwo zwischen 8 und 10. Nun ziehen wir die Brücke heraus, und der Zeiger fällt auf 0 zurück. Stecken wir den 1-Megohm-Widerstand (braun-schwarz-grün) zwischen x und y, so schlägt der Zeiger nur ganz wenig aus und erreicht nicht einmal mehr die 1 auf der Skala. Nehmen wir statt dessen den 330-Kiloohm-Widerstand (orange-orange-gelb), so schlägt das Meßinstrument ungefähr bis zur 2 aus. (Der 100-Kiloohm-Widerstand – braun-schwarz-gelb – dient dem Schutz des Meßgerätes, er darf bei diesen Versuchen nicht entfernt werden!)

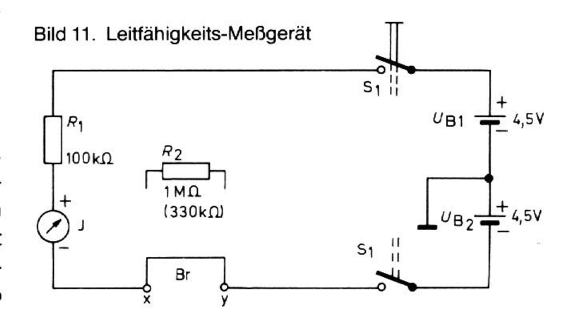
Durch Einsetzen eines Widerstandes in den Stromkreis kann man also die Stärke des Stromes beeinflussen: Der 1-Megohm-Widerstand ist offensichtlich ein schlechterer Leiter als der 330-Kiloohm-Widerstand.

Wenn wir die Brücke herausziehen und dafür nichts anderes einsetzen, befindet sich zwischen x und y nur Luft. Und natürlich der Kunststoff, aus dem die Aufbauplatten hergestellt sind. Kunststoff und Luft sind außerordentlich schlechte Leiter, man bezeichnet sie als Nichtleiter oder Isolatoren.

Bild 13, Seite 10 zeigt einige Beispiele, wie wir prüfen können, was Leiter und was Nichtleiter sind.

Halten wir die beiden Drähte z. B. auf den Universalschlüssel, so schlägt das Meßinstrument weit

Bild 11. Leitfähigkeits-Meßgerät



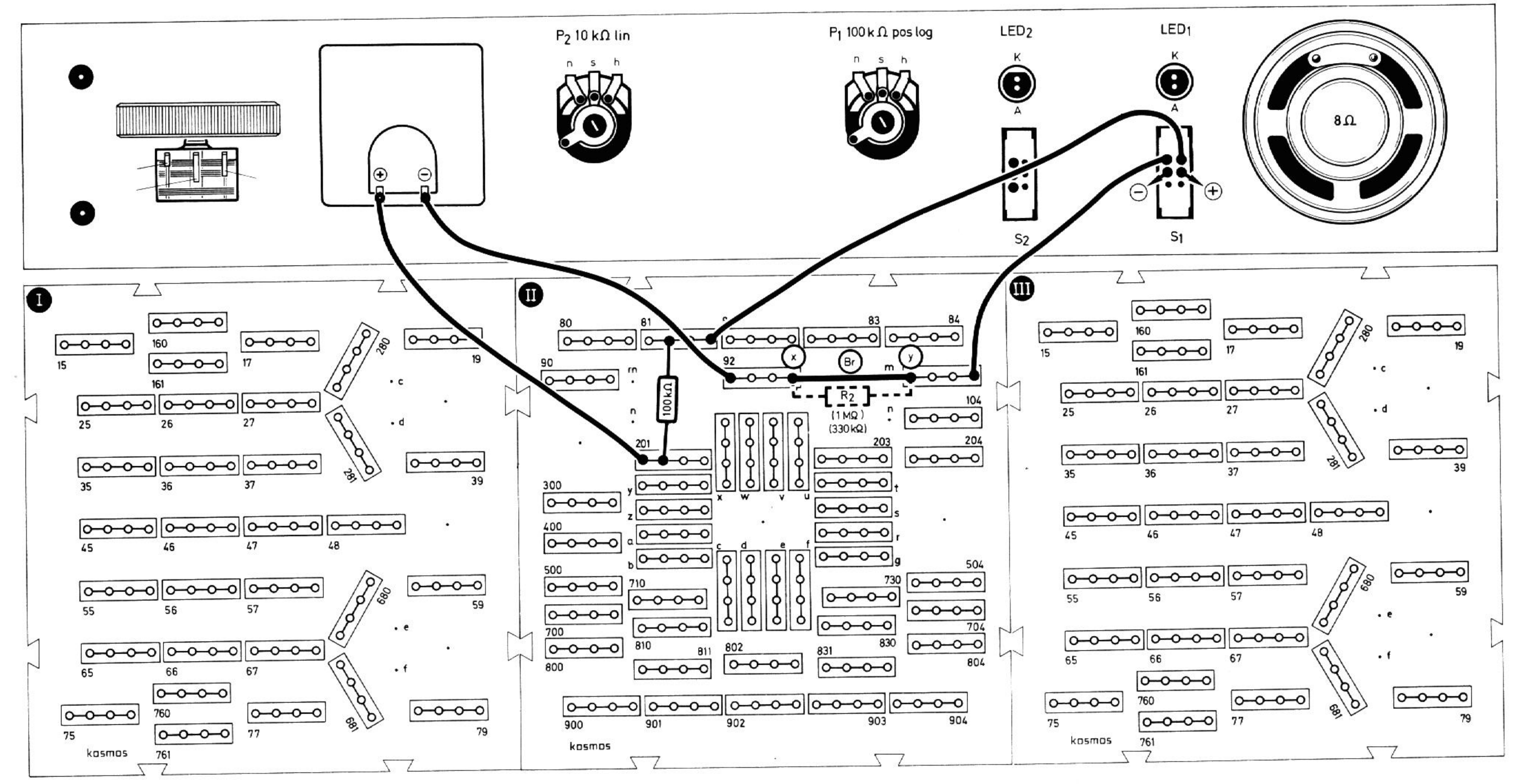


Bild 12. Aufbaubild Leitfähigkeits-Meßgerät

aus. Er ist aus Metall, also leitet er. Auch der menschliche Körper leitet den elektrischen Strom, aber wesentlich schlechter als ein Metallgegenstand. So schwache Ströme, wie wir sie in diesem Experiment verwenden, kann unser Nervensystem noch nicht wahrnehmen. Sie sind absolut ungefährlich. Nehmen wir die blanken Drahtenden der von x und y kommenden Leitungen fest zwischen Daumen und Zeigefinger, so schlägt das Meßinstrument aus.

Interessant ist in diesem Zusammenhang das Verhalten von Flüssigkeiten. Chemisch ganz reines Wasser (destilliertes Wasser) ist ein Nichtleiter.

Destilliertes Wasser können wir aus dem Rauhreifbelag des Kühlschrankfrosters gewinnen. Wir schaben etwas davon ab und tauen es in einem saube-

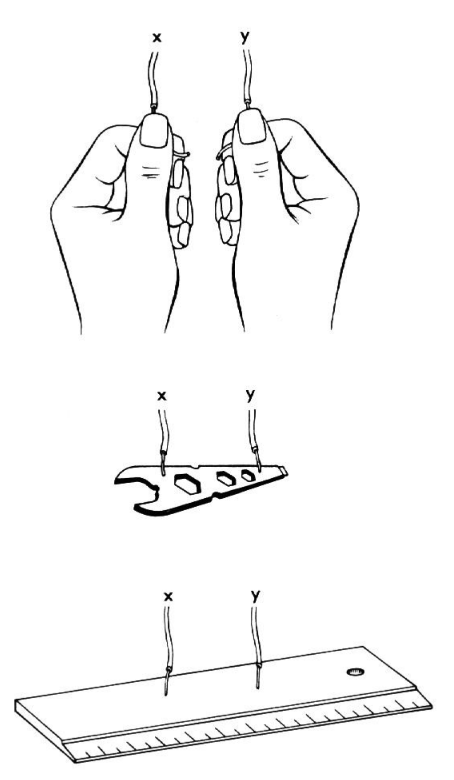


Bild 13. Verschiedene Gegenstände werden auf Leitfähigkeit überprüft

ren Gefäß auf. Unser Meßinstrument schlägt bei der Messung allerdings noch etwas aus, weil die Destillation durch Verdunsten und Anfrieren noch kein absolut reines Wasser ergeben hat. Trotzdem leitet es wesentlich schlechter als unser Leitungswasser. Bei diesem schlägt das Meßinstrument ganz weit aus, auch wenn wir nur die Drahtspitzen eintauchen. Übrigens: Die Eiswürfel aus dem Kühlschrank sind natürlich kein destilliertes Wasser, sondern nur gefrorenes Leitungswasser!

Wo liegen die Gründe für diese unterschiedlichen Leitfähigkeiten?

Diese Frage wollen wir in den folgenden Kapiteln untersuchen.

2.2 Die Teilchen des Unteilbaren

Atomos, das Unteilbare, war in der griechischen Naturphilosophie der Ausdruck für das kleinste Teilchen der Materie. Der Name ist geblieben, unsere Vorstellungen von der kleinsten Einheit der Stoffe haben sich grundlegend gewandelt. Wir wissen heute, daß Atome selbst aus Teilchen bestehen: Aus dem Atomkern mit positiv geladenen Protonen und ungeladenen Neutronen; dieser ist von einer Hülle umgeben, die aus negativ geladenen Elektronen besteht. Die Elektronen umkreisen mit extrem hoher Geschwindigkeit den Atomkern in verschiedenen abgestufen Abständen. Entsprechend diesen Abstufungen stellt man sich die Elektronenhülle so vor, als sei sie wie bei einer Zwiebel aus verschiedenen übereinanderliegenden Schalen zusammengesetzt (Bild 14).

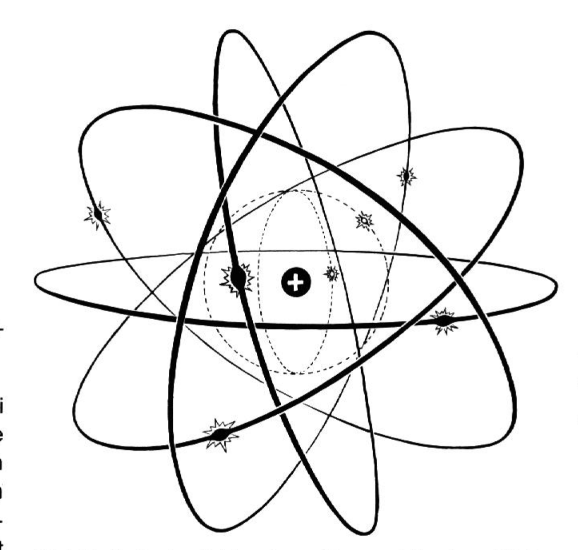


Bild 14. Rutherford-Bohrsches Atommodell eines Stickstoff-Atomes. Auf der Außenschale befinden sich fünf Elektronen.

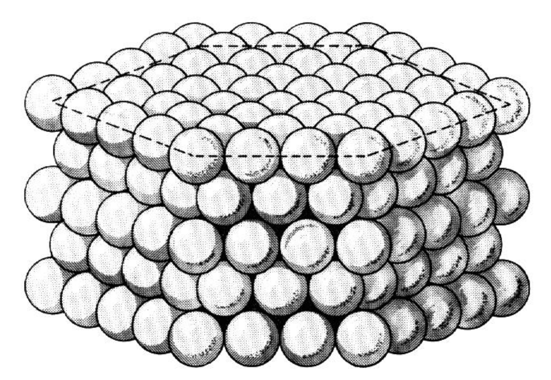


Bild 15. Hexagonales Kristallgitter. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind die Überschneidungen der äußeren Kugelschalen nicht gezeichnet.

Wir haben damit nur ein einzelnes Atom betrachtet. Wie sieht es aber aus, wenn mehrere Atome beieinander sind, z. B. in einem Kupferdraht?

Man kann sich die Atome als winzige Kugeln vorstellen, der Kupferdraht besteht dann aus dicht gepackten Kugeln. Diese liegen jedoch nicht regellos beieinander, sondern sind nach einem räumlichen Muster angeordnet, das man als Kristallgitter bezeichnet (Bild 15).

Bei einer derartigen Anordnung überschneiden sich die äußeren Schalen benachbarter Atome, so daß die Elektronen dieser Außenschalen nun nicht mehr einem einzelnen Atom zugehörig sind, sondern gemeinsame Elektronen der Nachbaratome sein können.

Bei Metallen sind die Elektronen der Außenschalen so beweglich, daß sie von einem Atom zum andern überspringen und durch das Metallgitter wandern können. Wandern diese beweglichen Elektronen in eine bestimmte Richtung, dann fließt ein elektrischer Strom.

Ein Stoff kann also nur leiten, wenn bewegliche Elektronen vorhanden sind. Aber bei den Metallen, die alle bewegliche Elektronen besitzen, gibt es auch Unterschiede in der Leitfähigkeit. Sie hängen mit dem Aufbau des Atomgitters zusammen.

Bei ihrer Wanderung durch das Atomgitter sind die Elektronen einem Reibungswiderstand ausgesetzt. Die Größe dieser Reibung ist von Metall zu Metall verschieden groß. Je größer dieser Widerstand, desto geringer die Leitfähigkeit. Beide Größen stehen also zueinander im umgekehrten Verhältnis, mathematisch ausgedrückt:

$$\text{Leitfähigkeit} = \frac{1}{\text{Widerstand}} \quad \text{(F1)}$$

Die Leitfähigkeit wird in Siemens, abgekürzt S, gemessen, der Widerstand in Ohm, abgekürzt Ω (Omega).

3. Die elektrische Spannung

3.1 Die Kraft, die Elektronen schiebt

Wir haben erfahren, daß die Wanderung der Elektronen in einer Richtung das Fließen eines elektrischen Stromes darstellt. Nun wird es höchste Zeit zu fragen, was die Elektronen eigentlich dazu veranlaßt, in eine bestimmte Richtung zu wandern.

Die Antwort ist gar nicht so schwierig: Kein Gegenstand bewegt sich ohne Einwirkung einer Kraft. Die Kraft, die Elektronen schiebt, heißt elektrische Spannung und wird mit dem Buchstaben *U* bezeichnet, ihre Größe in Volt (Abkürzung V) angegeben (zu Ehren des italienischen Physikers Graf Alessandro Volta, 1745–1827). Wir kennen den Be-

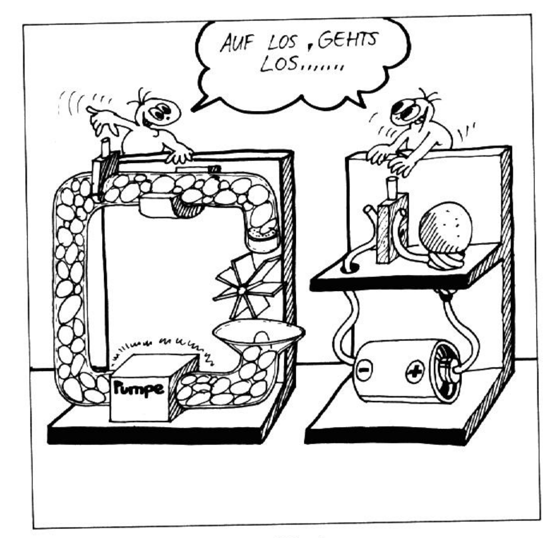


Bild 16. Unterbrochener Kreislauf

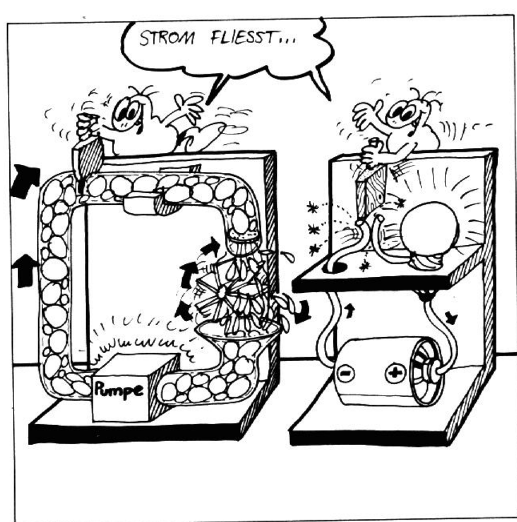


Bild 17. Strom fließt; so wie der Kupferdraht selbst auch einen geringen Widerstand hat, wirken die Kieselsteine hemmend auf den Wasserfluß.

griff der elektrischen Spannung von Batterien und von der Steckdose. Bei unserem Temperaturmeßgerät haben wir durch Erhitzen der CuNi-44-Kontaktstelle eine Spannung erzeugt.

Was elektrische Spannung ist, können wir uns anhand der Bilder 16–18 klarmachen.

In einen Wasserkreislauf ist eine Pumpe eingebaut, die einen Druck erzeugt (Bild 16). Solange der Schieber im Rohr ist, kann sich das Wasser in den Leitungen nicht bewegen, sondern drückt lediglich gegen den Schieber. Die rechte Bildhälfte zeigt die entsprechenden Verhältnisse im elektrischen Stromkreis: Die Batterien liefern eine elektrische Spannung, ein Strom kann jedoch nicht fließen, da

zwischen die beiden Kontaktfedern ein Stück Kunststoff (Isolator) geschoben ist.

Abb. 17 zeigt, was passiert, wenn der Schieber bzw. der Isolator herausgezogen wird.

Das Wasser bewegt sich in den Leitungen fort und treibt die Turbine an. Im elektrischen Kreis fließt ein Strom und bringt das Lämpchen zum Leuchten.

So wie der Kupferdraht der elektrischen Leitung einen äußerst geringen, aber doch meßbaren Widerstand hat, besitzt auch unsere Wasserleitung durch die eingelagerten Kieselsteine einen Widerstand.

Das Gedankenexperiment wird fortgesetzt, indem

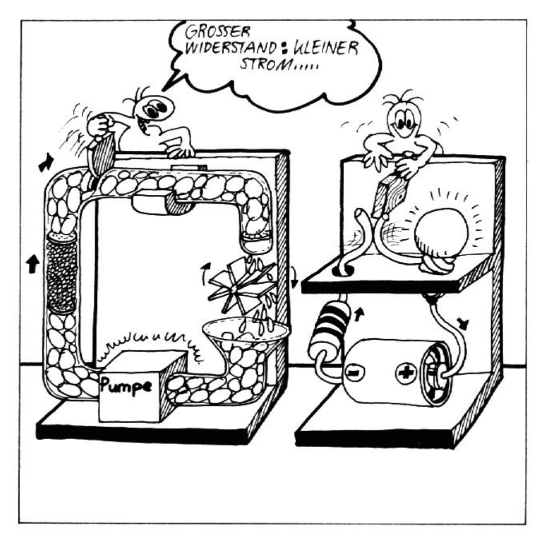


Bild 18. Eine Sandpackung im Wasserkreislauf ergibt einen zusätzlichen Widerstand.

in den Wasserkreislauf eine zusätzliche Sandpakkung eingefüllt und in den Stromkreis ein Bauteil, das wir bereits unter der Bezeichnung Widerstand kennengelernt haben, eingefügt wird (Bild 18).

Der Strom fließt nun in beiden Systemen langsamer, die Turbine dreht sich nicht mehr so schnell, das Lämpchen leuchtet schwächer.

Was müßte man tun, um den Druck in der Wasserleitung bzw. die elektrische Spannung im Stromkreis zu erhöhen?

Für den Wasserkreislauf besorgen wir uns eine zweite Pumpe, beim Stromkreis wird eine zweite (oder mehrere) Batterie benötigt und mit der ersten „in Reihe geschaltet“, wie es der Fachmann ausdrückt. Die Verhältnisse bei einer Reihenschaltung (die zuweilen auch Serienschaltung genannt wird) von Batterien beschreibt der folgende Versuch.

3.2 Geballte Kraft durch Reihenschaltung

Eine Reihenschaltung von Batterien oder anderen Spannungsquellen entsteht, wenn der Pluspol einer Batterie mit dem Minuspol der nächsten verbunden wird. Nach Bild 19 wird die Spannung einer solchen Reihenschaltung mit unserem Meßinstrument gemessen. Wenn dem Meßinstrument, wie abgebildet, ein 100-kΩ-Widerstand (braun-schwarz-gelb) vorgeschaltet wird, so können wir die gemessenen Spannungen direkt in Volt ablesen.

Das Meßergebnis zeigt, daß jede Batterie etwa 1,5 V hat. Durch die Reihenschaltung von 6 Batterien erhält man durch Aufsummieren der Einzelspannungen die Gesamtspannung:

$$1{,}5\,V + 1{,}5\,V + 1{,}5\,V + 1{,}5\,V + 1{,}5\,V + 1{,}5\,V = 9\,V$$

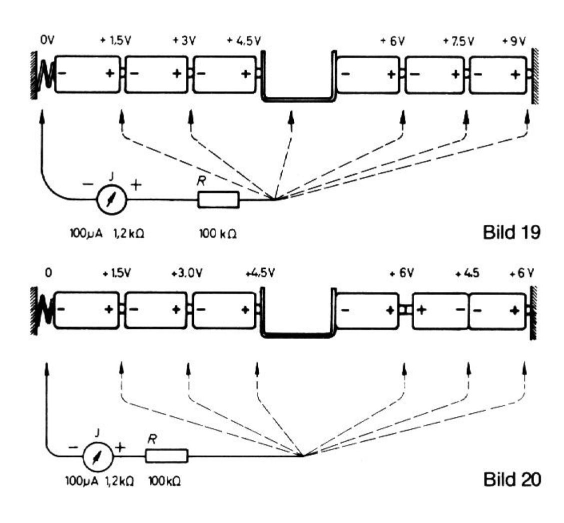


Bild 19

Bild 20

Bei der zweiten Anordnung ist eine Falle eingebaut (Bild 20).

Erst bei genauem Hinschauen entdeckt man, daß *eine* Batterie verkehrt herum eingesetzt ist, die Messung ergibt, daß sich die Spannungen in diesem Falle subtrahieren. Gesamtspannung:

$$1{,}5\,V + 1{,}5\,V + 1{,}5\,V + 1{,}5\,V - 1{,}5\,V + 1{,}5\,V = 6\,V$$

(Nach der Messung bitte nicht vergessen, die Batterien wieder richtig einzusetzen. Nachmessen, ob 9 V da sind!)

3.3 Plus ist wenig und Minus ist viel

Wir wissen jetzt, daß der elektrische Strom durch die Bewegung von Elektronen, den negativ geladenen Teilchen der Materie, zustande kommt. Am Minuspol der Batterie herrscht Elektronenüberschuß, am Pluspol Elektronenmangel. Die Elektronen be-

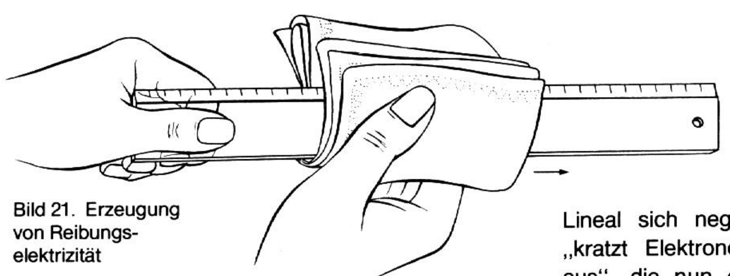


Bild 21. Erzeugung von Reibungselektrizität

wegen sich vom Minuspol zum Pluspol. Trotzdem wird in vielen Lehrbüchern behauptet, der Strom fließe von Plus nach Minus, was eigentlich auch mit unseren Vorstellungen von Plus = viel und Minus = wenig übereinstimmen würde.

Wo liegt der Fehler?

Die sich offensichtlich widersprechenden Aussagen sind historisch begründet. Elektrizität wurde schon zu einer Zeit beobachtet, als man über den Aufbau der Materie sehr wenig wußte.

Die Gedankengänge der Pioniere der Elektrizität (des Amerikaners Benjamin Franklin und des Deutschen Georg Christoph Lichtenberg) können wir in einem sehr einfachen Versuch mit Reibungselektrizität nachvollziehen:

An einem Tag mit trokkener Luft nehmen wir ein Kunststofflineal (Polystyrol) und reiben es mit einem trockenen Baumwoll-Taschentuch (Bild 21). Dabei lädt das Lineal sich negativ auf, d. h. seine Oberfläche „kratzt Elektronen aus dem Taschentuch heraus", die nun dicht gedrängt auf seiner Oberfläche sitzen und auf eine Gelegenheit warten, von dort abzuspringen. Nähern wir das aufgeladene Lineal langsam unserer Nasenspitze, so fühlt es sich an, als stießen wir mit dem Gesicht in ein Spinnengewebe. Was wir fühlen, sind die vom Lineal auf uns überspringenden Elektronen, mit denen wir nun auf diese Weise persönlichen Kontakt aufgenommen haben.

Es wird nun klar, warum ein „fühlbarer" Überschuß von Elektrizitätsteilchen als Pluspol bezeichnet wurde. Man hielt diese Teilchen für positive Ladungsträger. Daß den Ladungsträgern, den Elektronen, später ein negatives Vorzeichen zugeordnet wurde, bringt auch heutzutage noch Elektroniker in Schwierigkeiten.

In der Technik hat man jedoch bis heute die einmal festgelegte Stromrichtung beibehalten und spricht von technischer Stromrichtung von Plus nach Minus, wohl wissend, daß die Bewegung der Ladungsträger, der negativen Elektronen, vom Minuspol zum Pluspol erfolgt.

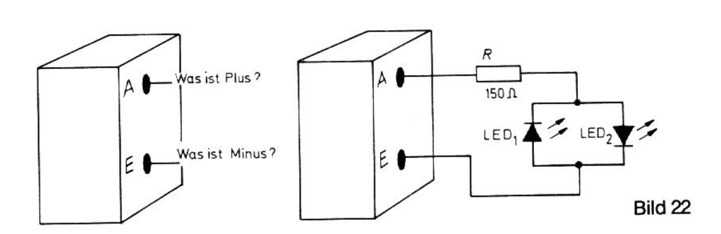
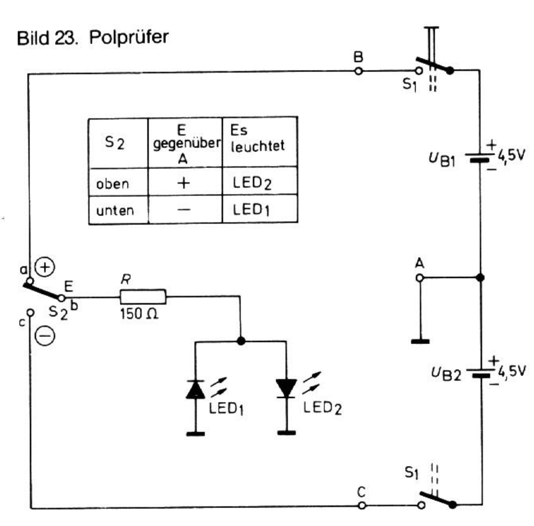


Bild 22

Bild 23. Polprüfer



S2	E gegenüber A	Es leuchtet
oben	+	LED2
unten	–	LED1

3.4 Elektronische Polarexpedition

Wo sich Plus- und Minuspol einer Stromquelle befinden, ist nicht immer so einfach festzustellen wie bei unseren Taschenlampenbatterien. Wir bauen deshalb einen Universal-Polprüfer.

Das Aufbauschema eines derartigen Polprüfers zeigt Bild 22.

Der Polprüfer besteht aus den beiden Leuchtdioden in der Frontplatte und einem 150-Ohm-Schutzwiderstand. An Punkt A und E kann eine Batterie beliebig angeschlossen werden (bis max. 9 Volt!). Wenn die Leuchtdiode 1 leuchtet, liegt an A der Minuspol, leuchtet die Leuchtdiode 2, befindet sich der Minuspol bei E.

Die Spürnasen des Polprüfers sind die Leuchtdioden. Sie leuchten auf, wenn sie vom Strom durch-

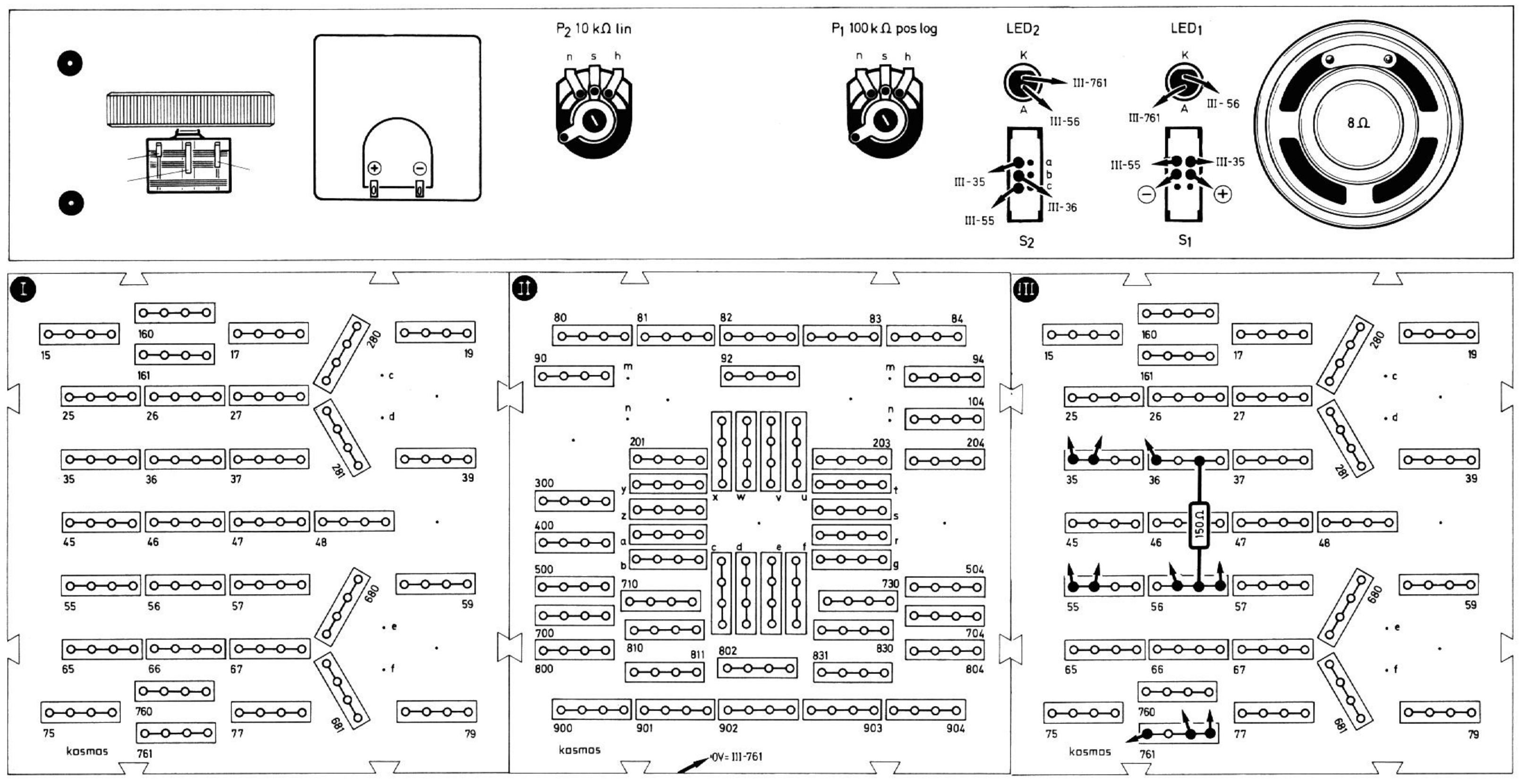


Bild 24. Aufbaubild Polprüfer (Die Pfeile auf der Grundplatte weisen auf die Anschlüsse hin, die von der Frontplatte kommen.)

flossen werden. Ihr Geheimnis ist, daß sie im Gegensatz zu einem Glühlämpchen den Strom nur in *einer* Richtung passieren lassen. In unserem Aufbau sind zwei Leuchtdioden gegensinnig (antiparallel) geschaltet. Dadurch wird also immer eine vom Strom durchflossen und leuchtet daher auf. Selbstverständlich läßt sich mit dem Polprüfer auch die Polung der Batterien unseres Experimentierchassis überprüfen. Aufbaubild 24 zeigt die nötigen Verbindungen, 23 den zugehörigen Schaltplan.

Leuchtdioden sind Halbleiter-Bauelemente. Sie sind wesentlich robuster als herkömmliche Lämpchen und haben eine sehr lange Lebensdauer. Durch Verwendung bestimmter Materialien lassen sich rote, gelbe, grüne und orange Leuchtfarben erzielen.

4. Der elektrische Strom

4.1 Wieviele Elektronen fließen

Die Stromstärke sagt aus, wieviele Elektronen innerhalb einer Zeitspanne an einer bestimmten Stelle eines Leitungssystems vorbeifließen.

Bild 25 soll uns helfen, diese Tatsache etwas genauer zu erfassen.

Es zeigt ein Stück Draht, um das außen bei A ein

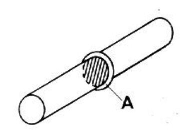


Bild 25. Die Stromstärke gibt an, wieviel Elektronen pro Zeiteinheit einen Querschnitt passieren.

Markierungsring angebracht ist. Er umschließt den an dieser Stelle schraffiert eingezeichneten Querschnitt.

Die Stromstärke von einem Ampere (1 A) fließt, wenn je Sekunde 6,25 Trillionen, das sind

6 250 000 000 000 000 000 oder $6{,}25 \cdot 10^{18}$

Elektronen durch einen Querschnitt wandern. Die Maßeinheit Ampere (A) ist nach dem französischen Physiker André Marie Ampère (1775–1836) benannt.

Für die Stromstärke kommt es also nicht nur darauf an, wie rasch die Elektronen wandern (der Fachmann sagt „driften"), sondern welche Anzahl von Elektronen innerhalb einer bestimmten Zeit befördert werden.

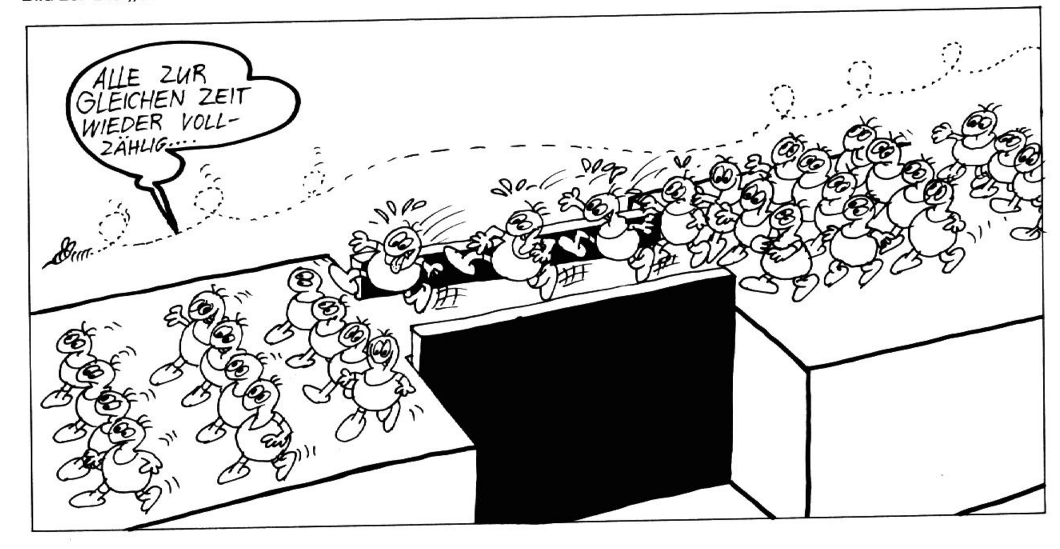
Vergleichen wir die Elektronen mit Wanderern, die in Viererreihen gemächlich auf einem Weg marschieren (Bild 26).

Sie treffen auf eine Brücke, die so schmal ist, daß immer nur *ein* Mann Platz hat. Die Wanderer müssen einzeln hintereinander laufen und die Brücke im Dauerlauf passieren, wenn es alle in derselben Zeit schaffen wollen. Die „Stromstärke" vor, auf und hinter der Brücke ist gleichgroß, die „Driftgeschwindigkeit" auf der engen Brücke ist viermal so hoch! Den verschieden großen Wegbreiten entsprechen die unterschiedlichen Querschnitte verschieden dicker Drähte. Die Driftgeschwindigkeit der Elektronen hängt davon ab, wie viele Elektronen gleichzeitig nebeneinander durch den Leiterquerschnitt fließen können. Bei halbem Querschnitt kann bloß die Hälfte nebeneinander herfließen, und die Driftgeschwindigkeit muß für dieselbe Stromstärke doppelt so groß sein. Dazu ist natürlich mehr „Druck" (Spannung) nötig.

Ein Leiter mit geringerem Querschnitt setzt dem elektrischen Strom einen höheren Widerstand entgegen als ein dicker Leiter. Längere Drähte haben einen größeren Widerstand als kürzere Drähte gleichen Durchmessers. Außer Querschnitt und Länge hat auch das Material, aus dem der Leiter besteht, Einfluß auf den Widerstand einer Leitung. Silber leitet beispielsweise besser als Kupfer, Kupfer besser als Aluminium. Diese Materialeigenschaft bezeichnet man als spezifischen Widerstand (Art-Widerstand).

Den Zusammenhang zwischen Leiterquerschnitt,

Bild 26. Die „Stromstärke" ist vor, auf und hinter der Brücke gleich groß.



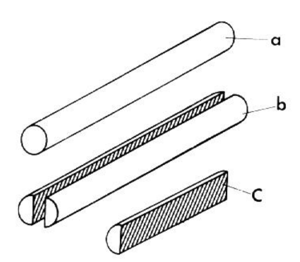


Bild 27. Anordnungen gleichen Widerstandes

Leiterlänge und Widerstand zeigt Bild 27 an einem Beispiel. Der Draht a hat denselben Widerstand wie zwei parallel geschaltete Drähte b mit gleicher Länge, aber halbem Querschnitt. Denselben Widerstandswert hat Draht c, der zwar nur den halben Querschnitt von Draht a hat, dafür aber auch nur halb so lang ist. Die spezifischen Widerstände für gebräuchliche Materialien sind in der folgenden Tabelle 1 zusammengestellt.

Tabelle 1: Spezifische Widerstände

Material	ϱ_{20}
Silber	0,0163
Kupfer	0,0175
Aluminium	0,0294
Zink	0,0625
Eisen ca.	0,13
CuNi 44	0,49

Das Symbol für den spezifischen Widerstand ist der griechische Buchstabe Rho (ϱ). Da der spezifische Widerstand temperaturabhängig ist, wird ein Index eingefügt, der angibt, bei welchen Temperaturen er gemessen wurde. Die in der Tabelle angegebenen Werte gelten für 20 °C.

Den Zusammenhang zwischen spezifischem Widerstand, Leiterlänge und Leiterquerschnitt kann man in einer Formel zusammenfassen:

$$\text{Drahtwiderstand } (\Omega) = \frac{\text{Spez. Widerstand} \times \text{Länge (m)}}{\text{Querschnitt (mm}^2)}$$

Demnach haben die 33 m Wickeldraht (aus Kupfer) unseres Kastens mit 0,3 mm Durchmesser (Querschnittsfläche also 0,0707 mm²) einen Widerstand von 8,17 Ohm.

4.2 Es kommt auf die Summe an

Was würde passieren, wenn wir bei unserem Wassermodell aus Kapitel 3.1 noch eine weitere Sandpackung in die Rohrleitung einfügen würden?

Der Gesamtwiderstand der Rohrleitung würde sich erhöhen und dadurch der Stromfluß noch mehr verlangsamen.

Wir überprüfen dies, indem wir mit ein paar Handgriffen noch einmal Schaltbild 11 nach Aufbaubild 12 aufbauen.

Wir hatten gesehen, daß nach dem Einfügen des 1-MΩ-Widerstandes der Strom erheblich geringer wurde. Die beiden Einzelwiderstände $R_1 = 100$ kΩ und $R_2 = 1$ MΩ bilden hier den Gesamtwiderstand von $R_{ges} = 1$ MΩ + 100 kΩ = 1,1 MΩ. Als Formel läßt sich das so ausdrücken:

$$R_{ges} = R_1 + R_2 \qquad \text{(F2)}$$

Der nächste Versuch gibt uns Aufschlüsse, ob eine feste Reihenfolge bei Widerständen im Stromkreis erforderlich ist. Dazu stecken wir als R_1 einen 82-kΩ-Widerstand (grau-rot-orange) und als R_2 einen 22-kΩ-Widerstand (rot-rot-orange) ein. Der Zeiger wird etwa zwischen 8 und 10 stehen.

Wir merken uns den Zeigerausschlag und vertauschen nun die beiden Widerstände gegeneinander. Hat sich die Stromstärke geändert?

Wie erwartet, ist der Zeigerausschlag in beiden Fällen absolut gleich. Es kommt also lediglich auf den Gesamtwiderstand an:

$$R_{ges} = 82\text{ k}\Omega + 22\text{ k}\Omega = 104\text{ k}\Omega.$$

Zum Schluß schalten wir noch den 100-kΩ-Widerstand (braun-schwarz-gelb) als R_1 und eine Drahtbrücke zwischen x und y in den Stromkreis. Wieder erhalten wir etwa denselben Ausschlag des Instrumentes zwischen 8 und 10, denn 100 kΩ sind nur unwesentlich verschieden von 104 kΩ.

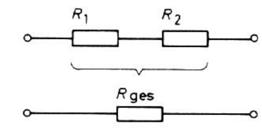


Bild 28. Der Gesamtwiderstand ist gleich der Summe der Einzelwiderstände.

Bild 28 zeigt zusammenfassend, daß der Gesamtwiderstand eines Stromkreises sich aus zwei oder mehreren Einzelwiderständen zusammensetzen kann; die Reihenfolge der Widerstände ist dabei ohne Einfluß. Wenn Widerstände nacheinander in eine Reihe geschaltet sind, spricht man von Reihen- oder Serienschaltung.

4.3 100-m-Lauf, kein Fall für Elektronen!

Wie schnell bewegen sich Elektronen tatsächlich?

Wir haben an einen Leiter eine bestimmte Spannung gelegt, die eine Stromstärke bewirkt, sagen wir 10 Elektronen pro Sekunde. Sind im Leiter sehr viele bewegliche Elektronen für den Stromfluß verfügbar, z. B. 10 000, dann genügt dem einzelnen Elektron eine geringe Geschwindigkeit, damit 10 Elektronen pro Sekunde vorrücken können. Sind

dagegen weniger Elektronen frei beweglich (ist also der Widerstand des Leiters größer), dann müssen die einzelnen Elektronen sich schon ein bißchen beeilen, um den geforderten Stromfluß herzustellen. Für diesen Zusammenhang haben die Physiker eine Formel entwickelt:

Geschwindigkeit der Elektronen ist gleich:

$$\frac{\text{Stromstärke} \cdot \text{Länge des Leiters}}{\text{Anzahl der beweglichen Elektronen im Leiter}}$$

Beispiel:
Wir benützen diese Formel für eine Stromstärke von einem Ampere (1 A) = $6{,}25 \cdot 10^{18}$ Elektronen pro Sekunde. In einem Kupferdraht von 60,4 mm Länge und 0,5 mm Durchmesser sind 10^{21} (eine Trilliarde) freie Elektronen vorhanden (die krummen Werte wurden nur verwendet, um eine glatte Elektronenanzahl zu erreichen). Dann läßt sich berechnen:

$$\text{Geschwindigkeit} = \frac{(6{,}25 \cdot 10^{18}) \cdot 60{,}4}{10^{21}} = 0{,}378 \text{ m/s}.$$

Es ist also erstaunlich, mit welch geringen Geschwindigkeiten sich die Elektronen im Leiter fortbewegen!

4.4 Driftgeschwindigkeit und Laufzeit

Wenn man im Treppenhaus den Lichtschalter drückt, gehen alle Lampen gleichzeitig an. Ist das bei der winzigen Driftgeschwindigkeit der Elektronen, die wir gerade an einem Beispiel errechnet haben, nicht erstaunlich?

Hier gilt es jedoch, zwei verschiedene Erscheinungen zu berücksichtigen, die wir auf keinen Fall verwechseln dürfen. Das eine ist die Driftgeschwindigkeit der Elektronen, das andere ist die Laufzeit des Einschaltimpulses.

Es ist wie bei der Eisenbahn: Ein Zug ist am Kopfbahnhof angekommen, und die Reisenden sind ausgestiegen. Die Lokomotive steht am Prellbock, der letzte Wagen unter der Halleneinfahrt. Der Lokomotivführer wartet, bis er den Zug aus der Halle auf das Abstellgleis drücken soll.

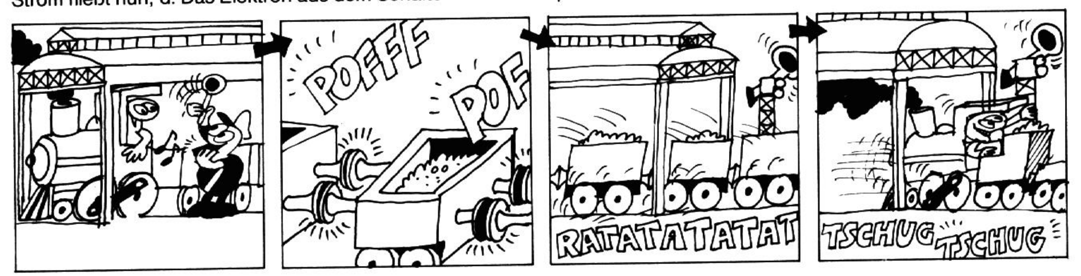
Wenn der Zug nun langsam rückwärts aus der Halle geschoben wird, fährt die Lokomotive an und fast gleichzeitig auch alle Wagen (Bild 29 a–d).

Die kurze Zeit, die vom Anfahren der Lokomotive bis zu dem Augenblick vergeht, in der alle Puffer zwischen den Wagen zusammengedrückt sind und auch der unter der Halleneinfahrt stehende Wagen zu rollen beginnt, ist die Laufzeit des Anfahrimpulses. Der Zug fährt jetzt (der Strom fließt), während die Lokomotive noch eine ganze Zeit braucht, bis sie die Hallenausfahrt erreicht hat. Damit die Treppenhauslampen leuchten, müssen auch nicht die Elektronen, die zum Zeitpunkt des Einschaltens im Schalter waren, bis zur obersten Lampe gekommen sein.

Im geschlossenen Stromkreis ist die Stromstärke überall gleich groß. An jeder Stelle des Stromkreises kommen in jeder Sekunde gleich viele Elektronen vorbei. Wenn wir uns einen Schienenkreis mit einem Eisenbahnzug vorstellen, der so lang ist, daß die Lokomotive den letzten Wagen vor sich

Bild 30. An jeder Stelle der Strecke kommen pro Zeiteinheit gleich viele Wagen vorbei.

Bild 29. (von links nach rechts). a. Der Strom wird eingeschaltet; b. Der Einschaltimpuls pflanzt sich rasch fort; c. Der Strom fließt nun; d. Das Elektron aus dem Schalter hat die Lampe erreicht.



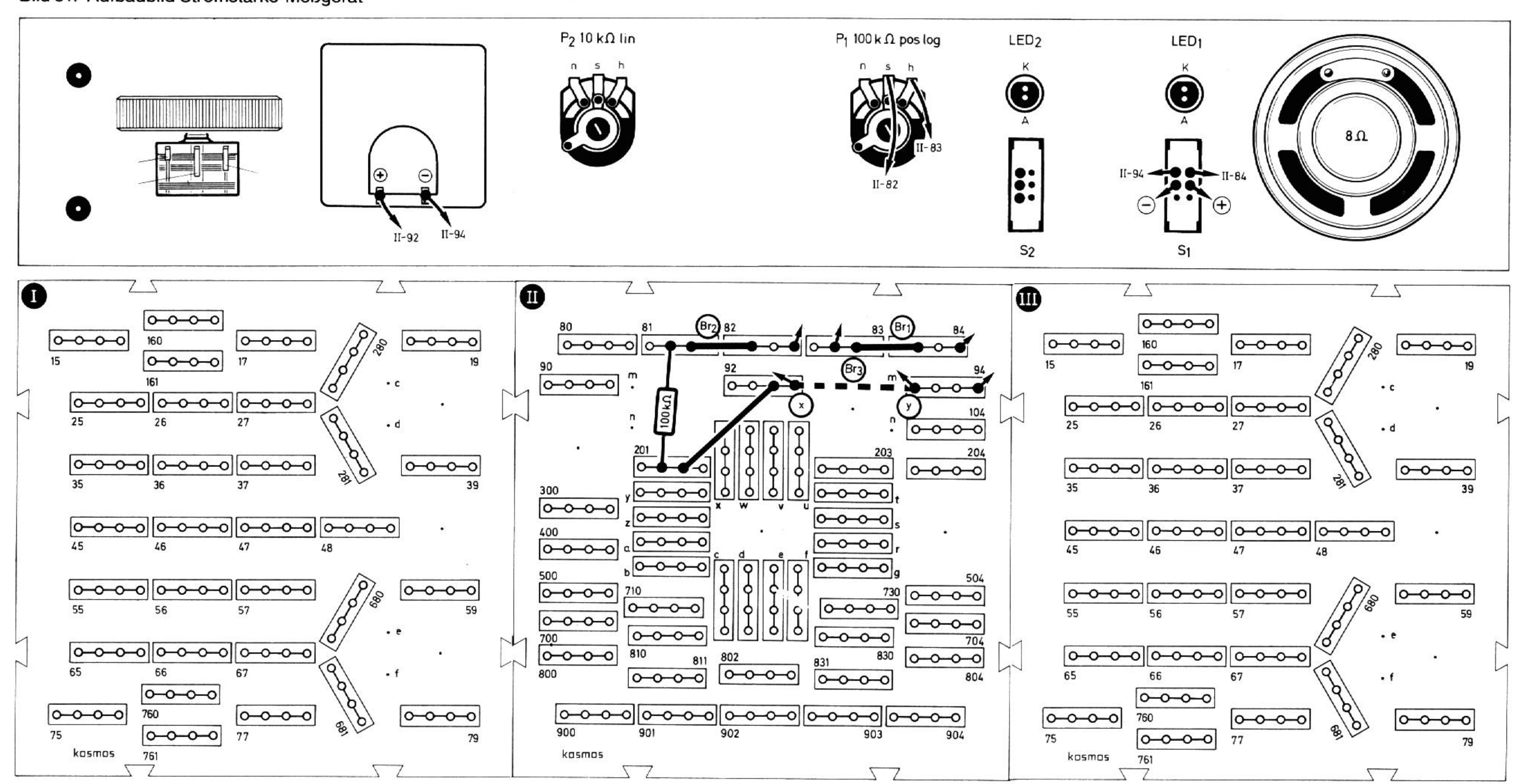
herschiebt, ist ja auch ganz klar, daß an jeder Stelle der Strecke in jeder Sekunde gleich viele Wagen vorbeikommen (Bild 30).

Enthält der Stromkreis verschiedene Widerstände, so ist trotzdem die Stromstärke an allen Stellen gleich. Die Driftgeschwindigkeit der Elektronen kann dagegen in verschiedenen Teilen des Stromkreises unterschiedlich sein; sie hängt vom Querschnitt und von den verfügbaren freien Elektronen ab.

Der nächste Versuch soll nochmals deutlich machen, daß der Strom an allen Stellen des Stromkreises gleich stark ist. Bild 32 zeigt die Schaltung, Bild 31 den Aufbau.

Das Meßinstrument wird nacheinander an drei verschiedenen Stellen in den Stromkreis gelegt, so daß es uns den Stromfluß an diesen Stellen anzeigt. Wir drehen das Potentiometer an den linken

Bild 31. Aufbaubild Stromstärke-Meßgerät



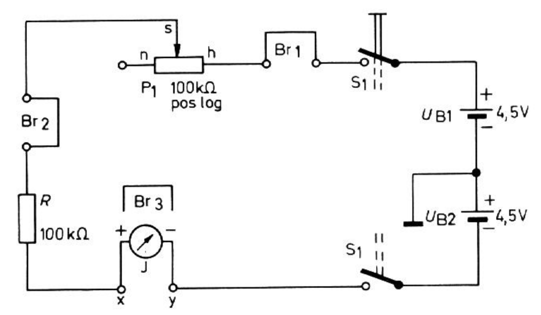


Bild 32. Stromstärke-Meßgerät

Anschlag (Stellung „0" der Frontplattenskala). Diese Einstellung wird zunächst beibehalten.

Nach dem Einschalten schlägt der Zeiger des Meßinstrumentes aus und steht ungefähr zwischen 4 und 5 der Skala. Dies entspricht einem Stromfluß von 40 bis 50 Mikro-Ampere (abgekürzt µA). Nun schließen wir das Meßinstrument anstelle der Brükke 1 an und verbinden x und y über die Brücke 3. Wir bekommen exakt denselben Ausschlag. Dies ist auch der Fall, wenn wir statt der Brücke 2 das Meßinstrument einsetzen (die Brücke 1 muß dann wieder eingesteckt werden).

Tatsächlich fließt also an jeder Stelle des Stromkreises ein Strom derselben Stärke. Wir lassen die Schaltung für den nächsten Versuch aufgebaut.

5. Das Ohmsche Gesetz

Der deutsche Physiker Georg Simon Ohm (1789 bis 1854) war Zeit seines Lebens dafür bekannt, daß er Ungenauigkeiten haßte. Ausgerechnet ihm widerfuhr, daß die Nachwelt Unordnung in die Überlieferung seiner Lebensdaten brachte. Durch die Ähnlichkeit der Zahl 9 in Kanzleischrift mit der Zahl 7 späterer Handschriften wurde sein Geburtsjahr oft falsch wiedergegeben, und es kam sogar zu einer um zwei Jahre verfrühten Feier seines 150. Geburtstags. In manchen Nachschlagewerken taucht der Fehler heute noch auf.

Ohm hat als erster die Abhängigkeiten zwischen Spannung, Widerstand und Strom im Stromkreis erkannt und diese Zusammenhänge im Jahre 1827 als Gesetz bekannt gemacht – dem dann nach ihm benannten Ohmschen Gesetz.

5.1 Wie hoch ist die Stromstärke?

Wir verwenden die Schaltung aus dem letzten Abschnitt und drehen das Poti hin und her. Wir beobachten dabei, daß sich die Stellung des Zeigers bei unserem Meßinstrument mit der Poti-Einstellung verändert. Es läßt sich, je nach Einstellung des Potis, jeder gewünschte Wert zwischen 5 und 8 anzeigen. Durch Verstellen des Potis haben wir einen mehr oder weniger großen Teil der Kohlebahn in den Stromkreis geschaltet und damit den Gesamtwiderstand des Stromkreises geändert. Dadurch konnten wir den Strom zwischen 50 und 80 µA verstellen.

Daß sich durch Änderung des Widerstandes stets auch die Stromstärke ändert, stellt eine der drei Aussagen des Ohmschen Gesetzes dar:

Bei gleichbleibender Spannung hängt die Stärke des fließenden Stromes vom Widerstand ab, den ihm der Stromkreis entgegensetzt.

Wir können diesen Zusammenhang in eine Formel kleiden, mit Hilfe derer sich die Stromstärke berechnen läßt, wenn Spannung und Widerstand bekannt sind:

$$\text{Stromstärke} = \frac{\text{Spannung}}{\text{Widerstand}}$$

Der Fachmann schreibt Formeln nicht in Wörtern, sondern mit Buchstabensymbolen, die international genormt sind. Für den Widerstand steht der Buchstabe R, für Stromstärke I und für Spannung U.

Hier taucht die Frage auf, weshalb nicht für den Widerstand Ω, für den Strom A und für die Spannung V als Symbol verwendet werden.

Die Antwort ist einfach: Wir müssen zwischen physikalischen Größen und Maßeinheiten unterscheiden. So ist zum Beispiel die Zeit eine physikalische Größe, die man mit t abkürzt. Für sie gibt es verschiedene Maßeinheiten, wie die Sekunde s und die Stunde h, die Minute min und den Tag d.

Nach den Normen DIN 1338 und DIN 1304 werden Abkürzungen physikalischer Größen schrägstehend und Abkürzungen von Maßeinheiten geradestehend geschrieben. Das erlaubt, den Sinn von Buchstaben in Berechnungen auf den ersten Blick zu erkennen. Tabelle 2 gibt uns eine Zusammenstellung der Buchstabensymbole, die wir bereits kennengelernt haben und weiter benutzen werden.

Tabelle 2: Maßeinheiten physikalischer Größen

Physikalische Größe	Symbol	Maßeinheit	Symbol
Zeit	t	Sekunde	s
Frequenz	f	Hertz	Hz
Spannung	U	Volt	V
Stromstärke	I	Ampere	A
Widerstand	R	Ohm	Ω

Den eben geschilderten Zusammenhang des Ohmschen Gesetzes können wir demnach als Formel so aufschreiben:

$$I = \frac{U}{R} \qquad \text{(F3)}$$

Beispiel:
Setzen wir für $U = 9\,\text{V}$ und für $R = 100\,000\,\Omega$ ein, so erhalten wir:

$$I = \frac{9\,\text{V}}{100\,000\,\Omega} = 0{,}00009 \text{ Ampere}$$

Oder

$I = 0{,}09$ Milli-Ampere bzw. 90 Mikro-Ampere

Die Vorsätze „Milli" (m) bzw. „Mikro" (µ) erlauben eine übersichtliche Schreibweise. Die Tabelle 3 gibt eine Zusammenstellung der genormten Vorsätze nach DIN 1301, die wir verwenden werden:

Tabelle 3: Benennung von Zehnerpotenzen

Faktor	Zehner-potenz	Vorsatz	Vor-satz-zeichen
Mal 1 000 000 (Million)	10^6	Mega	M
Mal 1000 (Tausend)	10^3	Kilo	k
Mal 0,001 (Tausendstel)	10^{-3}	Milli	m
Mal 0,000 001 (Millionstel)	10^{-6}	Mikro	µ
Mal 0,000 000 001 (Milliardstel)	10^{-9}	Nano	n
Mal 0,000 000 000 001 (Billionstel)	10^{-12}	Piko	p

5.2 Der Widerstand läßt sich auch berechnen

Wenn die Stromstärke in einem Stromkreis sowie die Speisespannung bekannt sind, läßt sich auch der Gesamtwiderstand des Stromkreises ermitteln. Dazu müssen wir die Formel F 3 folgendermaßen umstellen:

$$R = \frac{U}{I} \qquad \text{(F4)}$$

Dies ist die zweite Aussage des Ohmschen Gesetzes.

Beispiel:
Wenn wir beim Aufbau nach Bild 32 das Potentiometer so einstellen, daß der Zeiger des Meßinstrumentes genau auf der 6 steht, fließen 0,06 mA im Stromkreis. Nehmen wir an, die Speisespannung betrüge genau 9 V, so ließe sich nach Formel F 4 der Gesamtwiderstand des Stromkreises berechnen:

$$R_{ges} = \frac{9\,\text{V}}{0{,}06\,\text{mA}} = 150\,\text{k}\Omega$$

Wenn wir von diesem Gesamtwiderstand die 100 kΩ des Widerstandes R abziehen, so bleiben für das 100-kΩ-Poti 50 kΩ übrig (die wir genaugenommen noch um die 1,2 kΩ des Instrumentenwiderstandes verringern müßten). Dabei wundert uns, daß die Einstellung des Potis in der Nähe von 50 kΩ keineswegs bei Mitteleinstellung, sondern weit rechts davon liegt. Das hat seine Ursache darin, daß es sich um ein logarithmisches Potentiometer handelt.

5.3 Aller guten Dinge sind drei

Die beiden Formeln F 3 und F 4 zeigen nicht nur, daß die Stromstärke vom Widerstand des Stromkreises, sondern auch, daß sie von der Höhe der Batteriespannung abhängt. Wir können das mit der Schaltung nach Bild 33 ausprobieren, die wir nach Bild 34 aufbauen.

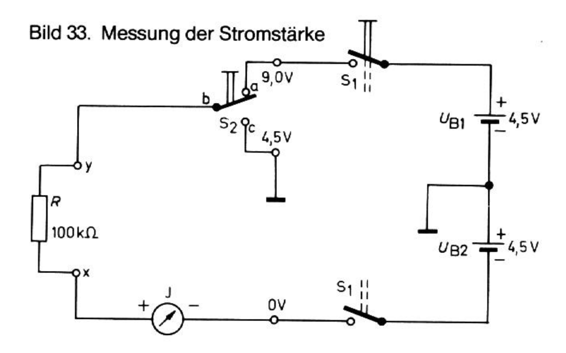
Wenn der Schalter 2 nach oben geschaltet ist, steht der Zeiger des Meßinstruments zwischen 8 und 9 der Skala. Das entspricht einer Stromstärke von 80–90 µA. In dieser Schalterstellung ist die angelegte Batteriespannung 9 Volt. Sie ergibt sich aus der Summe der Einzelspannungen der beiden Batteriepakete.

Schieben wir den Schalter 2 nach unten, so beträgt die Speisespannung nur noch 4,5 V. Entsprechend geht auch die Stromstärke auf die Hälfte zurück, und das Meßinstrument schlägt nur noch halb so weit aus.

Eine Änderung der Spannung hat also eine Änderung der Stromstärke zur Folge.

Wollen wir berechnen, welche Spannung nötig ist, um einen bestimmten Strom durch einen gegebenen Widerstand zu treiben, benützen wir die Formel F 5, die wir durch Umstellen einer der beiden vorhergehenden Formeln erhalten können. Sie

Bild 33. Messung der Stromstärke



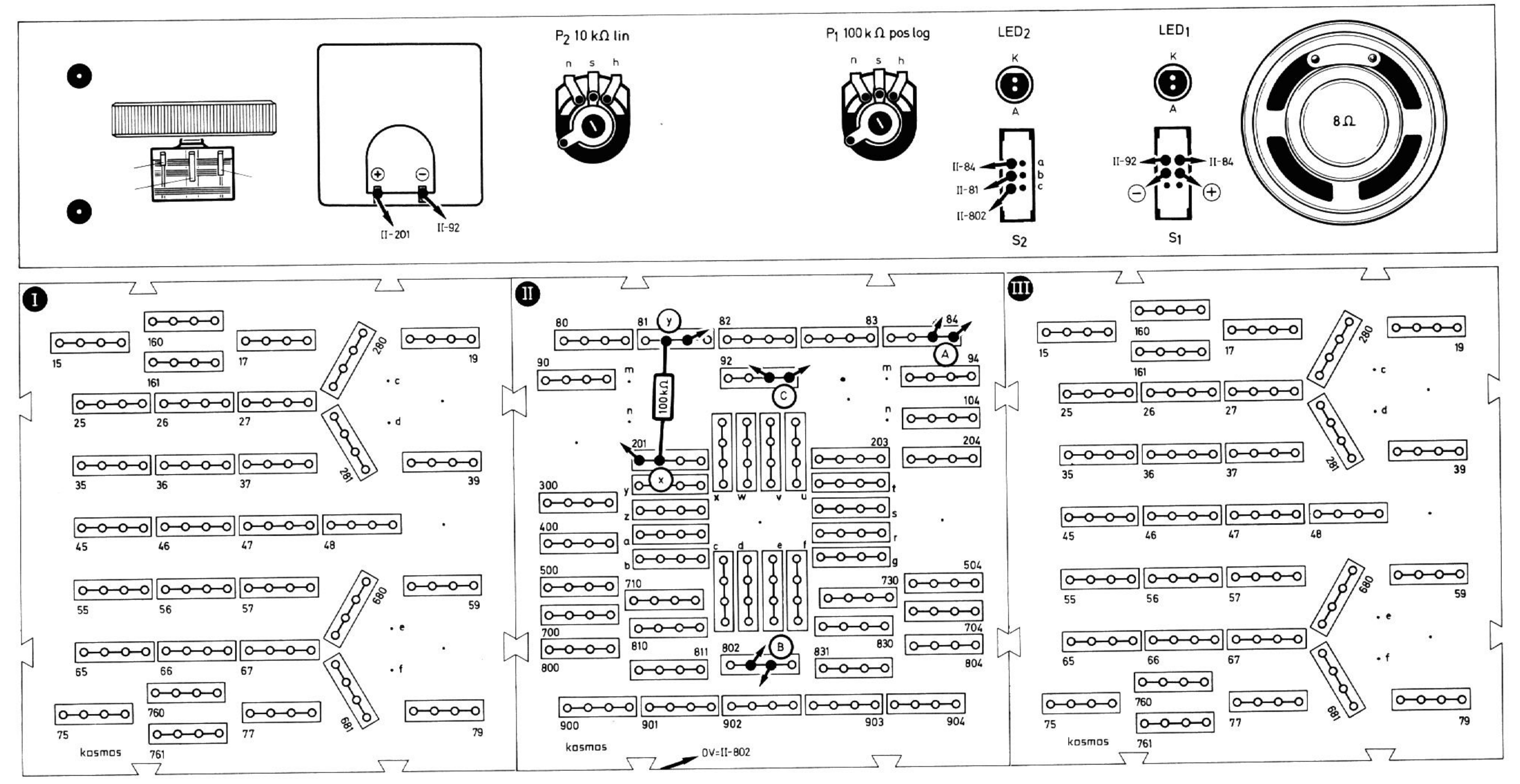


Bild 34. Aufbaubild Messung der Stromstärke in Abhängigkeit von der Spannung.

stellt die dritte Aussage des Ohmschen Gesetzes dar:

$$U = I \cdot R \qquad \text{(F5)}$$

Formel F 5 eignet sich auch dafür, einen „Spannungsabfall", d. h. eine Spannungsdifferenz zwischen den Anschlüssen eines Widerstandes zu berechnen.

Beispiel:
Um den Strom in unserem Stromkreis zu messen, wird dieser an einer beliebigen Stelle aufgetrennt und das Meßinstrument eingefügt. Das Instrument hat jedoch selbst einen Widerstand („Innenwiderstand") von 1,2 kΩ, der nun mit den übrigen Widerständen des Stromkreises in Reihe liegt. Am Meßinstrument fällt infolgedessen auch eine Spannung ab, die wir leider nicht messen können, da wir kein

zweites Instrument besitzen. Nach Formel F 5 können wir jetzt den Spannungsabfall am Meßinstrument ausrechnen.

Der (Innen-)Widerstand unseres Instruments beträgt 1,2 kΩ. Wenn der Zeiger einen Strom von 90 μA anzeigt, so ist der Spannungsabfall am Instrument:

$$U = R \cdot I = 1{,}2\ \text{k}\Omega \cdot 90\ \mu\text{A} = 0{,}108\ \text{V}.$$

Es trägt wesentlich zum Verständnis elektrischer Vorgänge bei, wenn wir uns angewöhnen, jedesmal, wenn wir auf das Wort „Spannung" stoßen, dafür in Gedanken das Wort „Spannungsunterschied" oder „Spannungsabfall" einzusetzen und gleichzeitig zu überlegen, zwischen welchen Punkten dieser Spannungsunterschied herrscht. So wie man im Gebirge auch die Höhendifferenz angeben kann, die ein Wanderer vom Tal bis zur Berghütte zu bewältigen hat, kann man in der Elektronik auch einen Spannungsunterschied zwischen zwei beliebigen Punkten angeben.

6. Der Operationsverstärker als Komparator

6.1 Küchenmesser kontra Zinkstreifen

Aus einem Küchenmesser, einem Zinkstreifen, einem Kupferstreifen und einer Zitrone elektrische Spannung herzustellen, ist sicher ungewöhnlich. Noch ungewöhnlicher ist es allerdings, gleich eine „Zitronen-Doppelbatterie" nach Abb. 35 aufzubauen und die Spannung zwischen dem Messer und dem Kupfer einerseits sowie dem Zink und dem Kupfer andererseits zu vergleichen.

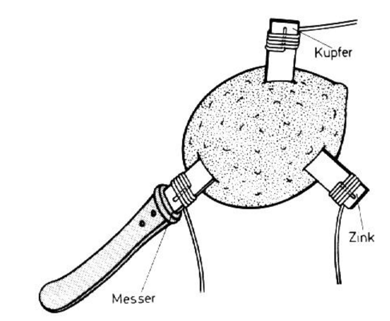


Bild 35. Eine ungewöhnliche Spannungsquelle „Zitronendoppelbatterie"

Der Operationsverstärker macht's möglich und zeigt, wozu moderne Elektronik in der Lage ist. Nach dem Schaltbild 36 (Aufbaubild 37) wird entweder die „Messerleuchtdiode" LED_1 oder die „Zinkleuchtdiode" LED_2 aufleuchten, je nachdem, welche Spannung größer ist.

Der Vorgang in der Zitrone ist viel weniger geheimnisvoll, als es den Anschein hat. Zur Herstellung einer Batterie genügen nämlich drei Dinge: Säure, ein „unedles" Metall, das sich in der Säure leicht auflöst, sowie ein „edleres" Metall, das von der Säure weniger angegriffen wird. Da wir hier in einer Zitrone gleich zwei Batterien haben, betrachten wir zum Verständnis nur die Zink-Kupfer-Anordnung. Für die Messer-(Stahl-)-Kupfer-Batterie gilt dann sinngemäß das gleiche.

Der Zinkstreifen löst sich langsam in der Säure auf, dabei gehen jedoch nur die Atomrümpfe (man nennt sie Ionen) in Lösung, die beweglichen Elektronen bleiben im Zinkblech zurück und bewirken einen negativen Ladungsüberschuß. Zwischen Zink und Kupfer baut sich eine Spannung auf. Damit haben wir eine Batterie vor uns.

Wie der Operationsverstärker auf unsere beiden selbst hergestellten Batterien reagiert, sehen wir im nächsten Abschnitt.

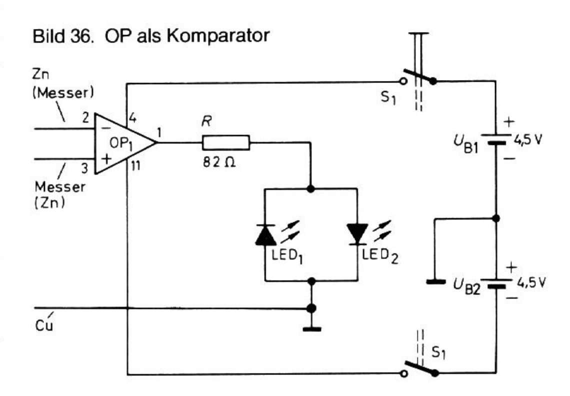
6.2 Kleine Ursache, große Wirkung

Was tut der Operationsverstärker mit den beiden Spannungen, die ihm frei Haus an die Beine 2 und 3 geliefert werden?

Er betätigt sich als Komparator, als „Vergleicher". Er ist nämlich in der Lage, auf winzige Spannungsunterschiede zwischen seinen Beinen 2 und 3 (wir bezeichnen sie als Eingänge) recht heftig zu reagieren, indem er am Ausgang (Bein 1) eine hohe negative oder positive Spannung abgibt.

Anstelle eines Blicks in das Innenleben des Operationsverstärkers betrachten wir ein Komparator-Modell: Eine Glasplatte steht auf zwei verstellbaren Beinen. Auf der Platte befindet sich eine schwere Stahlkugel. Links und rechts sind bewegliche Metallplatten angebracht, die sich immer gleichzeitig

Bild 36. OP als Komparator



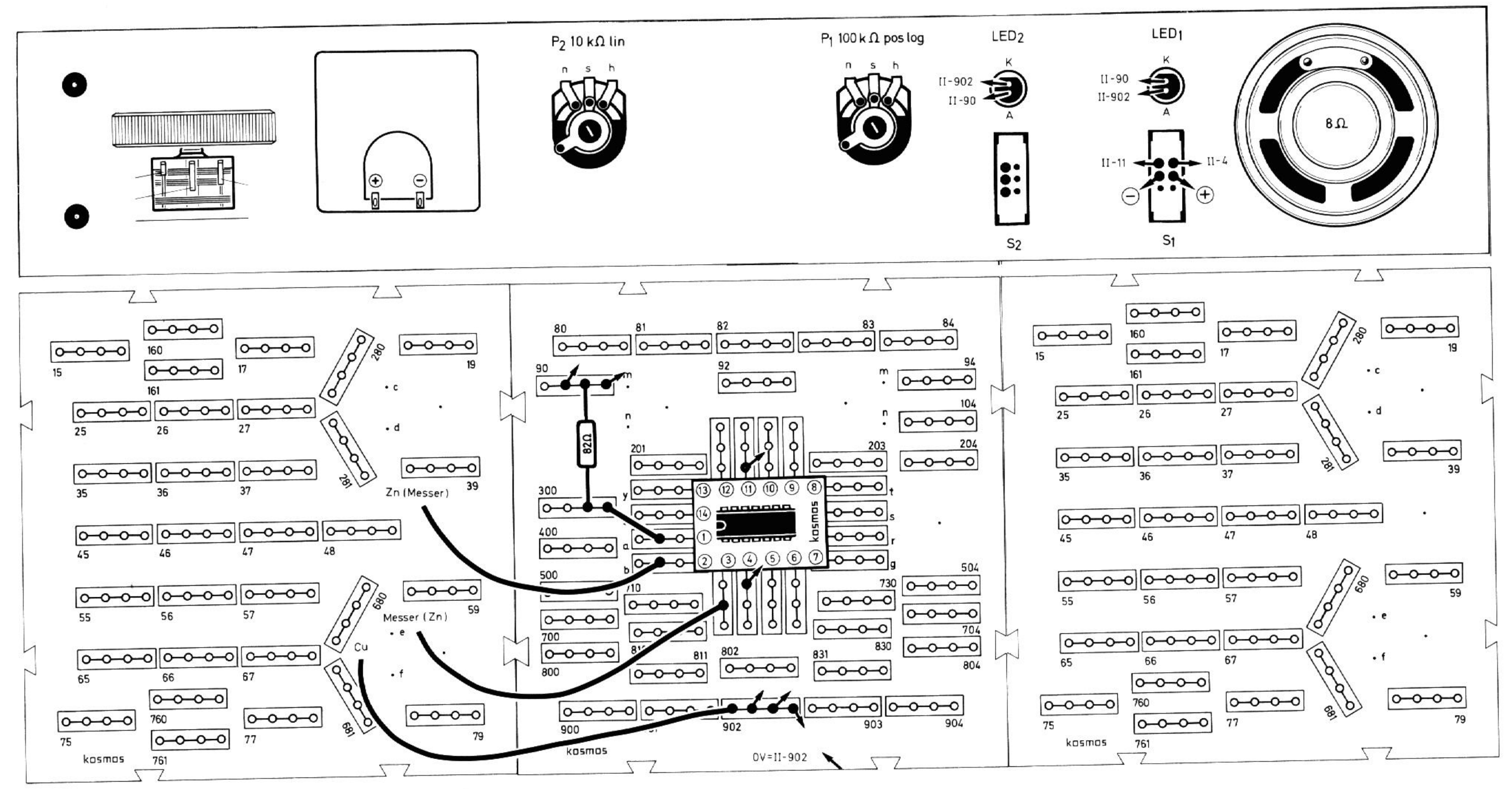


Bild 37. Aufbaubild Operationsverstärker als Komparator

bewegen, da sie mit einem Bügel verbunden sind (Bild 38, Seite 24).

Es wird trotz größter Anstrengungen nicht gelingen, die beiden Beine wirklich absolut gleich hoch einzustellen. Die Glasplatte hat also immer eine geringfügige Neigung. Da zwischen Kugel und Glasplatte praktisch keine Reibung besteht, rollt die Kugel nach der einen oder anderen Seite.

Die Kugel ist also in der Lage, die Beinhöhen miteinander zu vergleichen. Ihre Reaktion auf einen Höhenunterschied erfolgt nach dem Alles-oder-Nichts-Prinzip: Auch der kleinste Unterschied zwischen der Höhe der Beine hat zur Folge, daß die Kugel auf die eine oder andere Seite rollt, sie bleibt nie in einer Zwischenstellung liegen. Dabei zeigt sie

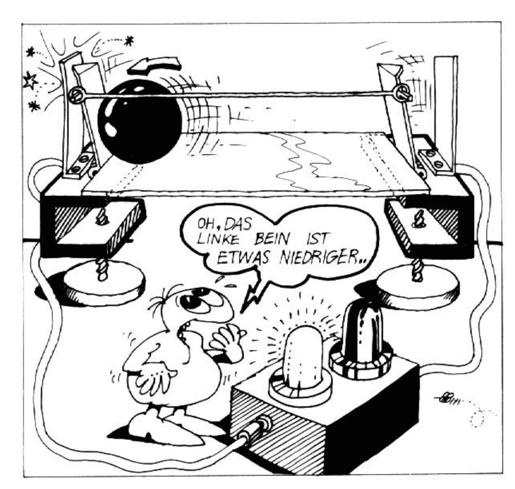


Bild 38. Komparatormodell: Welches Bein ist niedriger? Die Kugel kann keine Zwischenstellungen einnehmen.

durch Drücken gegen den linken oder rechten Kontakt an, welches Bein höher ist.

Wir besitzen nun ein Anschauungsmodell für den Operationsverstärker als Komparator. Wenden wir uns also dem Operationsverstärker selbst zu.

Wir wissen bereits, daß er *zwei* Eingänge besitzt. Das ist erstaunlich, denn von „normalen" Verstärkern aus Radio, Plattenspieler und Kassettenrekorder wissen wir vielleicht, daß zur Verstärkung eines „Signals" (Sprache, Musik) *ein* Eingang (außer der Masse) ausreichend ist. Wozu also der zweite Eingang? Wie wir später noch erfahren werden, wird der Operationsverstärker häufig als Präzisionsverstärker in sog. Rechenschaltungen eingesetzt. Bei solchen hochgenauen Schaltungen dürfen sich die Verstärkereigenschaften bei unterschiedlichen Temperaturen nicht ändern. Genau diese Bedingung erfüllt ein Operationsverstärker in hervorragender Weise: Ein Temperaturfehler an einem Eingang tritt auch an dem anderen Eingang auf. Wenn man nun die Differenz zwischen der Spannung an dem einen Eingang zuzüglich Temperaturfehler sowie der Spannung an dem anderen Eingang zuzüglich Temperaturfehler bildet, so fällt bei der Differenzbildung der Temperaturfehler heraus, und genau dies ist erwünscht.

Wir haben den Operationsverstärker bislang nur als Komparator, als Vergleicher, eingesetzt. Um herauszufinden, wie er vergleichen kann, wollen wir zunächst seine drei wichtigsten Eigenschaften kennenlernen:

1. Der Operationsverstärker bildet die Differenz der Spannungen an seinen Eingängen und verstärkt diese Differenz etwa 100 000fach.

   Beispiel:
   An den Eingängen eines Operationsverstärkers bestehe eine Spannungsdifferenz von 0,000045 Volt. Der Ausgang liefert das 100 000fache, also 4,5 Volt. Dies entspräche der Höhe der Speisespannung (Batteriespannung) – ihr Wert wird allerdings aufgrund von Spannungsverlusten im Operationsverstärker nie ganz erreicht.

   Würde man die Spannungsdifferenz an den Eingängen größer machen als in dem Beispiel, sagen wir mal 0,0001 Volt, so würden wir auch nur eine Ausgangsspannung etwa in Höhe der Batteriespannung erhalten, denn der Operationsverstärker kann selbstverständlich keine über die Batteriespannung hinausgehende, zusätzliche Spannung erzeugen. Bei einer Spannungsdifferenz von mehr als 0,000045 Volt befindet er sich in der „Sättigung". Dies ist das Alles-oder-Nichts-Prinzip aus unserem Modell mit Kugel und Glasplatte.

Anmerkung: Im Bereich kleinster Spannungen funktioniert unser Komparator nicht sehr gut, da unterhalb einer Grenze, die in der Praxis bei einigen Millivolt liegt, verschiedene Störgrößen die Ausgangsspannung beeinflussen. Wir wollen diesen unbrauchbaren Bereich für unsere Betrachtungen außer acht lassen.

2. Der Operationsverstärker kann am Ausgang positive oder negative Spannungen erzeugen.

   Von positiver und negativer Spannung zu spre-

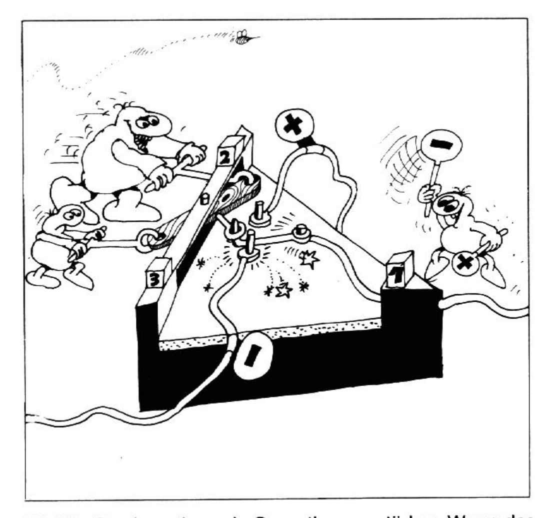


Bild 39. Der invertierende Operationsverstärker: Wenn das Männchen am invertierenden Eingang 2 stärker drückt (höhere positive Spannung), geht der Ausgang in die negative Sättigung. Das Anschauungsmodell funktioniert auch, wenn die Männchen ziehen (negative Spannungen).

chen, ist zulässig, weil wir den Bezugspunkt Masse = 0 Volt haben. Wir können z. B. eine positive Spannung mit einer Höhe *über* dem Meeresspiegel (Höhe des Meeresspiegels = Normalnull), eine negative Spannung mit einer Meeres*tiefe* vergleichen. Beide können zahlenmäßig gleich groß sein, bezogen auf die Meeresoberfläche jedoch unterschiedliche Vorzeichen haben. Der Operationsverstärker hat also nicht einen, sondern *zwei* Sättigungspunkte, z. B. + 4,3 V und −4,3 V.

3. Der Operationsverstärker kann invertieren.

Invertieren heißt ganz einfach umdrehen, gemeint ist das Ändern des Vorzeichens der Spannung (Bild 39).

Welche der Eingangsspannungen wird nun umgedreht, also invertiert, die an Bein 2 oder die an Bein 3?

Da der Operationsverstärker ja nur auf Spannungsdifferenzen reagiert, müssen wir also beide Spannungen betrachten, um diese Frage zu beantworten. Dabei darf nicht vergessen werden, daß ebenso wie die Ausgangsspannung auch die Eingangsspannung immer auf Masse (0 Volt) bezogen wird.

Wir schauen uns zunächst Bein 2 an, das man den invertierenden Eingang nennt (und infolgedessen mit einem Minuszeichen versieht), und bilden die Differenz der Eingangsspannungen. Und zwar in folgender Reihenfolge:

Spannung an Bein 2 minus Spannung an Bein 3.

Hat nun diese Differenz ein *positives* Vorzeichen, so geht der Ausgang in die *negative* Sättigung. Ist die Differenz *negativ*, so geht der Ausgang in die *positive* Sättigung. Der Operationsverstärker invertiert also das Vorzeichen der Differenz seiner Eingangsspannungen!

Beispiel:
Die Spannung unserer Zitronenbatterie beträgt am Küchenmesser (gegenüber dem Kupferstreifen, der auf Masse liegt) −0,75 V, die Spannung am Zinkstreifen −0,95 V. Der Zinkstreifen liege an Bein 2, das Küchenmesser an Bein 3. Wir bilden die Differenz:

Spannung an Bein 2 (−0,95 V) minus Spannung an Bein 3 (−0,75 V) = −0,2 V

Das Vorzeichen ist *negativ*, der Ausgang geht in die *positive* Sättigung!

Vertauscht man die Anschlüsse gegeneinander, so hat die Differenz ein *positives* Vorzeichen:

−0,75 V−(−0,95 V) = + 0,2 V

Der Ausgang geht in die *negative* Sättigung.

Bein 3 des Operationsverstärkers wird *nichtinvertierender* Eingang genannt (er erhält daher ein Pluszeichen). Warum man ihn so bezeichnet, sehen wir sofort, wenn wir wieder die Differenz der Eingangsspannungen bilden, diesmal jedoch in *umgekehrter Reihenfolge:*

Spannung an Bein 3 minus Spannung an Bein 2

Hat diese Differenz ein *positives* Vorzeichen, so geht der Ausgang in die *positive* Sättigung, ist die Differenz *negativ*, so ist auch der Ausgang *negativ*.

Beispiel:
An Bein 3 liege die Spannung des Zinkstreifens (−0,95 V), an Bein 2 die Spannung des Küchenmessers (−0,75 V).

Spannung an Bein 3 (−0,95 V) minus Spannung an Bein 2 (−0,75 V) = −0,2 V.

Das Vorzeichen ist *negativ*. Der Ausgang geht in die negative Sättigung. Vertauschen wir nun die beiden Anschlüsse gegeneinander, so wird das Vorzeichen der Differenz *positiv*, und der Ausgang ist ebenfalls *positiv*.

Wir können erkennen, daß die beiden Beispiele 1 und 2 einander absolut gleich sind. Sie unterscheiden sich nur durch die Reihenfolge der Differenzbildung, also dadurch, welcher der beiden Eingänge betrachtet wird.

Für das Verstehen des Komparators ist es besonders wichtig, im Gedächtnis zu behalten, daß aufgrund der hohen Verstärkung des Operationsverstärkers eine winzig kleine Eingangsspannungs-Differenz ausreicht, damit der Ausgang in die Sättigung geht. Wechselt die Eingangsspannungs-Differenz ihr Vorzeichen – wobei die Eingangsspannungen immer auf Masse bezogen werden –, so wechselt auch der Ausgang das Vorzeichen.

Die Möglichkeiten des Operationsverstärkers sind damit jedoch längst nicht erschöpft. Der Komparator ist nur ein Anwendungsfall, der die hohe Verstärkung voll ausnutzt. Wir werden später sehen, daß jede beliebige Verstärkung unter 100 000 durch einen einfachen Kunstgriff „einstellbar" ist, ja daß ein Operationsverstärker selbst mit einem Verstärkungsfaktor von eins hochinteressant sein kann.

In den nächsten Kapiteln wollen wir jedoch zunächst noch einige wichtige Anwendungsmöglichkeiten des Komparators kennenlernen. Wir werden sehen, wie man mit einem Komparator Kontrollschaltungen, Flip-Flops, Tongeneratoren und Schmitt-Trigger bauen kann. Übrigens funktionierte der Operationsverstärker in unserer Blinkschaltung

auch als Komparator. Wir werden also bald in der Lage sein, die Blinkschaltung vollständig zu verstehen. Doch zunächst schauen wir uns zwei Überwachungsgeräte an, die das Herz jedes Autofahrers höher schlagen lassen.

6.3 Vertrauen ist gut, Kontrolle ist besser

Wer hat als Autofahrer nicht schon einmal einen Vordermann gehabt, bei dem nur ein Rücklicht brannte oder nur ein Bremslicht aufleuchtete? Unwillkürlich fragt man sich, ob die Lichter des eigenen Wagens funktionieren und wünscht sich ein Kontrollgerät, das auch während der Fahrt zuverlässig anzeigt, ob das Rücklicht und Bremslicht in Ordnung sind. Solche Kontrollgeräte sollen nun aufgebaut werden.

6.4 Rücklichtkontrolle

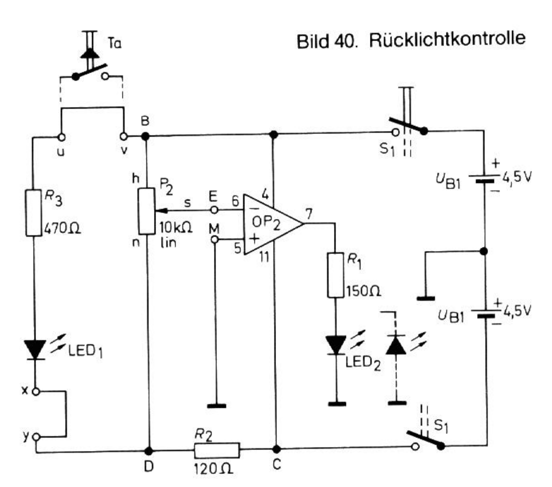


Bild 40. Rücklichtkontrolle

Der Aufbau der Schaltung erfolgt nach Bild 41, Seite 27. Auf dem zugehörigen Schaltbild 40 erkennen wir den Operationsverstärker wieder, dessen Ausgang über einen Widerstand die LED_2 ansteuert. (Die daneben gestrichelt gezeichnete LED beachten wir zunächst nicht.) Der Eingang 6 ist mit dem Schleifer eines Potentiometers (P_2) verbunden. Eingang 5 liegt auf Masse. Die Kombination aus Leuchtdiode 1 und ihrem Vorwiderstand R_3 soll ein Rücklicht des Autos darstellen.

Sobald mit dem Schalter 1 der Strom eingeschaltet wird, leuchtet das „Rücklicht" und bleibt brennen. Durch Drehen am Poti können wir die Leuchtdiode 2 zusätzlich ein- oder ausschalten.

Wir stellen das Potentiometer so ein, daß auch die Leuchtdiode 2 – unser Warnlicht – leuchtet. Dann drehen wir den Knopf von P_2 ganz langsam, bis das Warnlicht gerade erloschen ist. Wir simulieren das Durchbrennen des Rücklichtes durch Herausziehen der Brücke x–y. Das Warnlicht leuchtet sofort auf.

6.5 Bremslichtkontrolle

Eine Bremslichtkontrolle kann die Schaltung nach Bild 41 simulieren, wenn wir sie geringfügig ändern: Wir setzen die Leuchtdiode 2 umgekehrt gepolt ein und ersetzen außerdem die Brücke u–v durch den Taster; beides ist im Schaltbild 40 gestrichelt angedeutet. Dann vergewissern wir uns, daß die Brücke x–y eingesteckt ist.

Nach dem Einschalten von S_1 leuchtet die Leuchtdiode 1 jetzt nur noch auf, wenn der Taster gedrückt ist. Er stellt das Bremspedal dar und die Kombination aus Leuchtdiode 1 mit ihrem Vorwiderstand ein Bremslicht.

Die Einstellung des Kontroll-Lichtes erfolgt durch Verstellen von P_2 bei gedrücktem Taster. Poti zunächst nach links drehen, bis LED_2 erlischt, und dann langsam nach rechts drehen (immer noch bei gedrücktem Taster), bis sie gerade angeht. Läßt man den Taster los, gehen LED_1 und LED_2 gleichzeitig aus. Das Kontroll-Licht leuchtet immer nur dann, wenn auch das Bremslicht leuchtet. Wir simulieren ein Durchbrennen des Bremslichtes durch Herausziehen der Brücke x–y. Dann bleibt beim Betätigen der Bremse das Kontroll-Licht dunkel.

Beim richtigen Auto ist der durch das Bremslicht fließende Strom natürlich viel stärker als der, der durch das Kontroll-Licht fließt. Deshalb muß man dort den Widerstandswert von R_2 in der Kontroll-Schaltung entsprechend geringer wählen. Die gleiche Überlegung gilt auch bei Anwendung der Schaltung zur Rücklichtkontrolle.

6.6 Komparator im Kontroll-Einsatz

In den beiden Kontrollschaltungen ist der Operationsverstärker als Komparator geschaltet. Allerdings liegt Eingang 5 jetzt auf Masse. Damit wird die Spannung am invertierenden Eingang nicht mehr mit einer beliebigen anderen, sondern mit 0 Volt verglichen. Der erste Trick der Schaltung liegt beim Potentiometer: Es ist als „Spannungsteiler" geschaltet.

Was ein Spannungsteiler ist, verdeutlicht Bild 42, Seite 28. Der tüchtige Mann an der Kurbel kann stufenweise verschiedene Spannungswerte zwischen –4,5 V und + 4,5 V einstellen. Die „abgegriffene" Spannung steht ihm am Kurbelanschluß zur Verfügung. Die Anzahl der verschiedenen Spannungswerte ist leider durch die Anzahl der in Reihe ge-

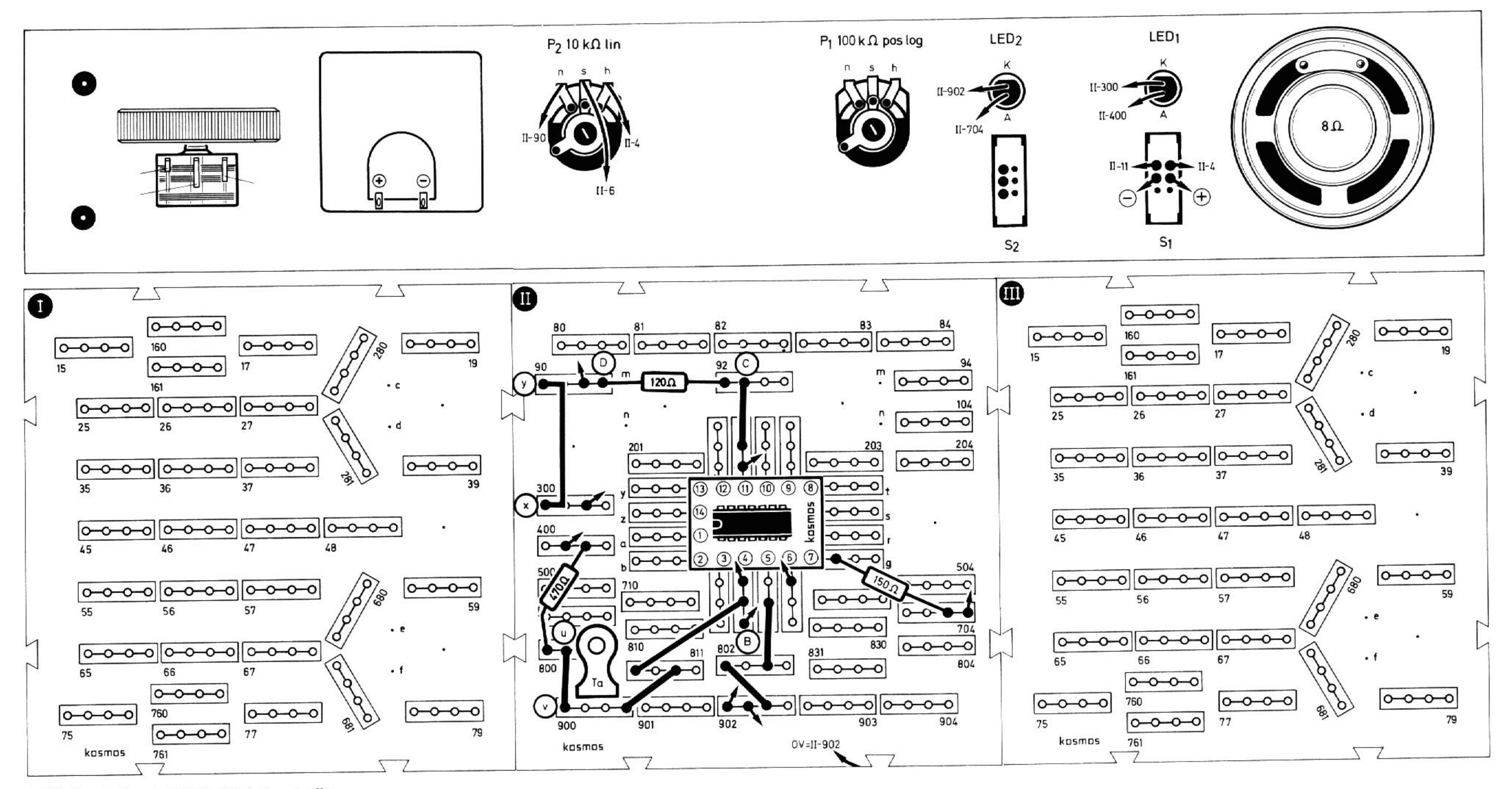


Bild 41. Aufbaubild Rücklichtkontrolle

schalteten Widerstände begrenzt. Um jede beliebige Spannung einstellen zu können, müßte der Mann sich unendlich viele Widerstände einbauen. Ihm wäre geholfen, wenn er ein Potentiometer nach Bild 43, Seite 28 zur Verfügung hätte. Auf der Kohlebahn des Potentiometers können ohne Stufung (kontinuierlich) beliebige Spannungen zwischen –4,5 V und + 4,5 V abgegriffen werden.

Eine Widerstandskette mit zwei oder mehreren Gliedern nach Bild 44, Seite 28 oder ein Potentiometer nach Bild 43 heißt Spannungsteiler.

Beim Spannungsteiler in der Schaltung 40 kann am Schleifer jeder Wert der zwischen B und D liegen-



Bild 42. Der Spannungsteiler

den Spannung abgegriffen werden. Da an B eine positive und an D eine negative Spannung liegt, gibt es eine Schleiferstellung, bei der 0 Volt abgegriffen werden können.

Steht das Poti am linken Anschlag, so greift der Schleifer eine negative Spannung ab; der Operationsverstärker invertiert, am Ausgang liegt die positive Sättigungsspannung. Die Leuchtdiode 2 brennt. Beim Drehen nach rechts nähert sich der Schleifer dem Nullpunkt. Noch bleibt der Ausgang des Operationsverstärkers eisern auf positiver Sättigung. In dem Augenblick jedoch, in dem der Nullpunkt auch nur geringfügig überschritten ist, wird die abgegriffene Spannung leicht positiv, und der Komparator kippt: Sein Ausgang geht schlagartig in die negative Sättigung, Leuchtdiode 2 erlischt.

Am zweiten Trick der Schaltung ist der 120-Ω-Widerstand maßgeblich beteiligt: Wenn Leuchtdiode 1 brennt (Rück- bzw. Bremslicht sind in Betrieb), wird er von einem Gesamtstrom durchflossen, der sich anschließend in die Teilströme durch das 10-kΩ-Poti (kleiner Strom) und durch die Leuchtdiode 1 (großer Strom) aufteilt. Die Summe aus Potentiometerstrom und Leuchtdiodenstrom bilden also den Gesamtstrom durch den 120-Ω-Widerstand.

Wenn Brems- oder Rücklicht nicht eingeschaltet sind oder durchbrennen (Leuchtdiode 1 dunkel), wird der 120-Ω-Widerstand nur noch von dem kleinen Strom, der anschließend auch durch das Potentiometer geht, durchflossen. Da wir das Ohmsche Gesetz kennen, wissen wir, daß ein geringerer Strom durch ein und denselben Widerstand einen kleineren Spannungsabfall bewirkt. Wir sehen also sofort, daß die Spannung an Punkt D sich ändert, wenn die Leuchtdiode 1 ausgeschaltet wird.

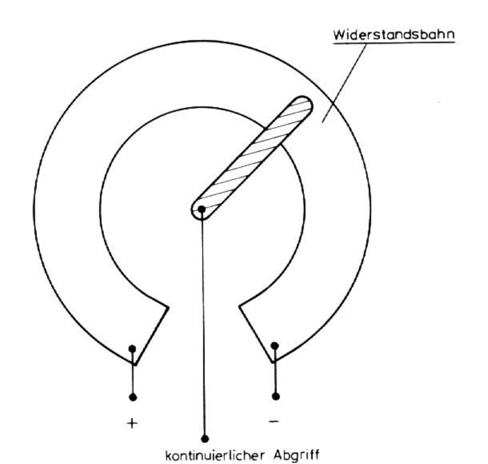


Bild 43. Potentiometer-Spannungsteiler

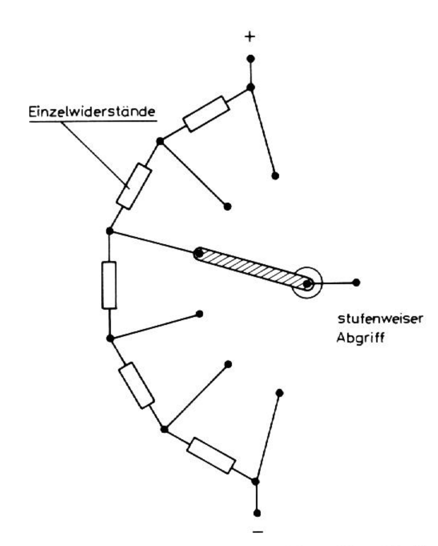


Bild 44. Spannungsteiler aus Festwiderständen

Um die Wirkungen dieser Spannungsänderung zu verstehen, machen wir ein Gedankenexperiment mit einem Wetterfrosch, der etwas aus der Art geschlagen ist.

6.7 Der faule Frosch und wie er überlistet wird

Werfen wir einen Blick auf unseren abartigen Wetterfrosch: Er sitzt in einem großen Behälter, der bis zur halben Höhe mit Wasser gefüllt ist. In diesem Behälter ist eine Leiter eingehängt, die auf einem Stein steht (Bild 45 a und b). Auf einer Sprosse der Leiter sitzt nun unser Frosch. Da draußen schlechtes Wetter ist, sollte er eigentlich die Leiter hinunter ins Wasser steigen. Unser Frosch ist aber faul und bleibt stur auf seiner Sprosse sitzen. Da gutes Zure-

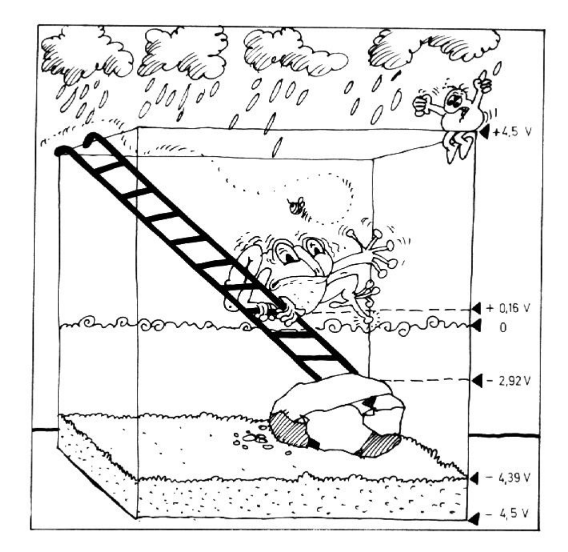


Bild 45 a. Da schlechtes Wetter ist, sollte der Frosch ins Wasser hinabsteigen.

den nicht hilft, ziehen wir kurzerhand den Stein unter der Leiter weg. Ohne seine Lieblingssprosse verlassen zu haben, befindet sich der eigenwillige Frosch jetzt unter der Wasseroberfläche.

Die Leiter unseres Beispiels entspricht dem Potentiometer unserer Kontrollschaltungen, der Frosch symbolisiert den Schleifer.

Den Stein haben wir erfunden, um den zusätzlichen Strom durch die Leuchtdiode, der auch den 120-Ω-Widerstand durchfließt, darzustellen.

Der Wasserspiegel, von dem aus Höhen und Tiefen gemessen werden, entspricht dem Nullpunkt unserer Schaltung (Masse), auf den alle negativen und positiven Spannungsangaben bezogen sind.

Brennt nun das Rücklicht bzw. Bremslicht durch, so verschwindet schlagartig der Leuchtdiodenstrom (Stein wird weggezogen), der 120-Ω-Widerstand wird nur noch von einem kleinen Strom durchflossen. An ihm fällt entsprechend nur noch eine kleine Spannung ab. Dadurch, daß der Spannungsabfall am Widerstand geringer wird, verschiebt sich die Spannung an Punkt D zu negativen Werten (unteres Leiterende steht plötzlich tiefer), und somit ändert sich auch die Spannung am Schleifer des Potentiometers, ohne daß dieser auch nur um einen Millimeter verstellt wurde.

Auch in unserem Beispiel haben wir den Frosch ins Wasser befördert, ohne ihn von seiner Sprosse zu vertreiben. So wie der Frosch unter die 0-Marke taucht, sinkt die Spannung am Potischleifer auf negative Werte. Eine negative Spannung am Eingang 6 veranlaßt wiederum den Komparator zu kippen: die Warnleuchte geht an.

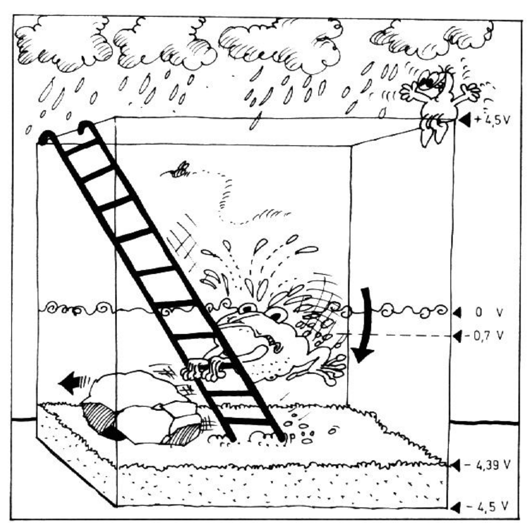


Bild 45 b. Ohne daß der Frosch seine Lieblingssprosse verlassen hat, wird er ins Wasser befördert.

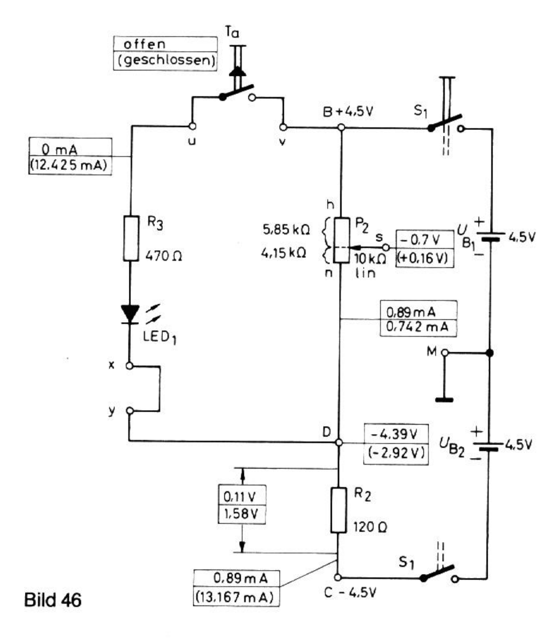


Bild 46

6.8 Der Komparator – meßtechnisch erfaßt

Auf Bild 46 können wir ganz genau verfolgen, wie sich die Spannungsverhältnisse an den Widerständen ändern. Es stellt die herausgezeichnete Eingangsschaltung des um den Taster erweiterten Schaltbildes 40 dar, wobei der dort waagerecht angeordnete Widerstand R_2 jetzt senkrecht gezeichnet ist. Die Ströme und Spannungen bei geöff-

netem Taster stehen an den entsprechenden Punkten der Schaltung immer als oberer Wert. Darunter in Klammern stehen die Werte, die sich bei gedrücktem Taster einstellen.
Wie wir wissen, ist eine Spannung eigentlich ein Spannungsunterschied zwischen zwei Punkten einer Schaltung; wir brauchen die beiden Anschluß-

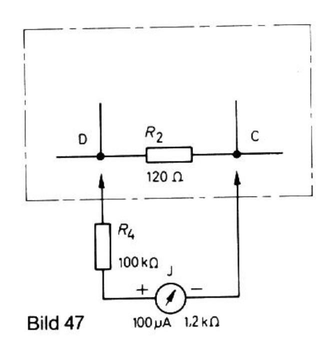


Bild 47

leitungen eines Voltmeters nur mit den beiden Punkten der Schaltung zu verbinden, zwischen denen wir die Spannung messen wollen, und den Zeigerausschlag ablesen. Bild 47 erinnert uns daran, daß das Voltmeter nicht ohne den 100-kΩ-Schutzwiderstand betrieben werden darf. Widerstand und Meßinstrument bilden zusammen ein Voltmeter, das bei Vollausschlag 10 V anzeigt. Die Anzeige kann direkt in Volt abgelesen werden. Die Genauigkeit der angezeigten Spannung ist dabei sowohl von der Toleranz des Widerstandes als auch von der des Meßwerks im Meßinstrument abhängig.

7. Komparatoranwendungen – Teil 1

7.1 Für Modellbahner: Automatiksignal an unbeschrankten Bahnübergängen

Mit einem als Komparator geschalteten Operationsverstärker kann man einen sehr einfachen elektronischen Schalter aufbauen, für den man außer dem Verstärker nur drei zusätzliche Widerstände benötigt. Damit wir auch gleich etwas Interessantes ein- und ausschalten können, verwenden wir die Blinkschaltung aus Kapitel 1.3 und bauen aus elektronischem Schalter und Warnblinker eine Modellbahn-Signalanlage für einen unbeschrankten Bahnübergang, die sich automatisch einschaltet, wenn ein Zug sich nähert, und auch wieder ausschaltet, wenn er den Bahnübergang passiert hat.

Da unser „Käfer" gleich vier Operationsverstärker besitzt, ist dies kein Problem. Den Aufbau zeigt Bild 49, Seite 31. Auf dem Schaltbild 48 sehen wir rechts den bereits bekannten Warnblinker, der über eine Diode mit dem Automatikschalter verbunden ist. Durch abwechselndes kurzes Drücken der Taster läßt sich das Blinklicht ein- und ausschalten. Die Taster können natürlich durch beliebige Kontakte ersetzt werden, z. B. durch zwei Kontaktgleisstücke einer Modelleisenbahnanlage. Wie man in der Praxis vorgehen kann, zeigt der Vorschlag gemäß Bild 50.

Der elektronische Schalter enthält nur Bauelemente, die uns bereits bestens bekannt sind. Es wird daher leicht sein, die Arbeitsweise, die im folgenden Kapitel beschrieben wird, zu verstehen. Bei der Blinkschaltung gibt es ein Bauteil, das bisher unerwähnt geblieben ist: den Kondensator. Ihm wollen wir uns dann anschließend zuwenden, damit auch die Funktion von Blinkschaltungen in allen Einzelheiten erklärt werden kann.

Bild 48. Automatischer Warnblinker

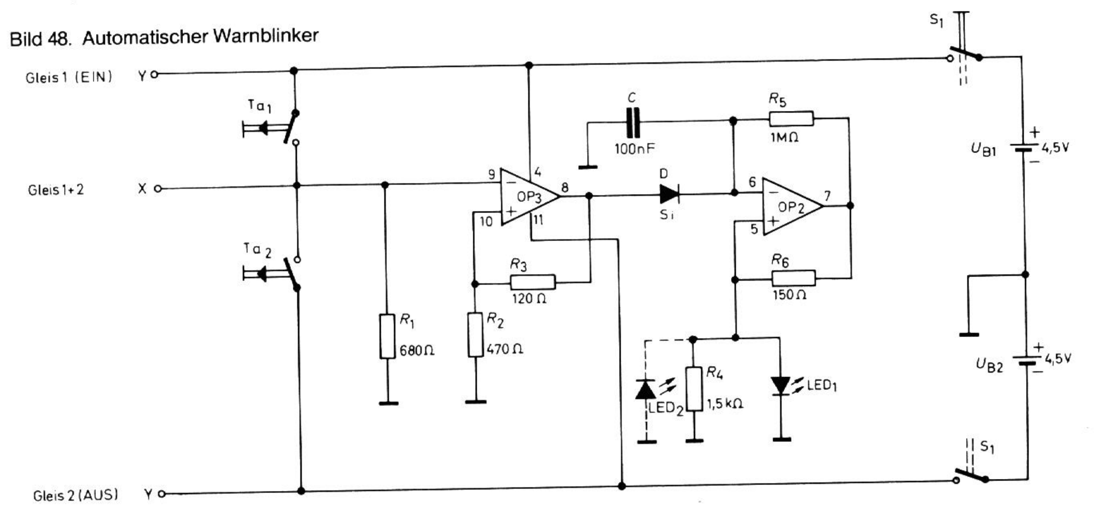
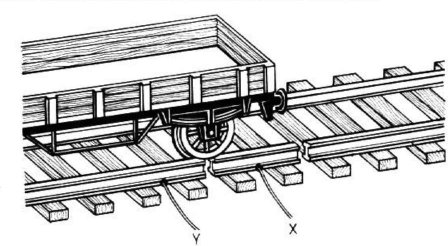


Bild 49. Aufbaubild automatischer Warnblinker



◄ Bild 50. Vorschlag für die Realisierung des automatischen Warnblinkers.

7.2 Das Flip-Flop-Prinzip

Bei unserem Automatik-Schalter (linker OP in Bild 48) handelt es sich um ein sogenanntes Flip-Flop. Auch hier arbeitet der OP als Komparator.

Welche Spannungen werden von ihm verglichen?

Beim Einschalten der Batteriespannung befindet sich der Ausgang entweder in der positiven oder der negativen Sättigung; in welcher, läßt sich nicht vorhersagen. Wir können also für die Schaltungser-

klärung irgendeinen der beiden Zustände zugrunde legen, z. B. + 4,3 V. Die Widerstände 120 Ω und 470 Ω verbinden den Ausgang mit der Masse. Zwischen den Widerständen herrscht ein Spannungswert von etwa 3,4 V (den genauen Wert kann man mit dem Voltmeter nachmessen). Die abgegriffene Spannung liegt auch am nichtinvertierenden Eingang (Bein 10). Bein 9 ist über einen Widerstand mit Masse verbunden und liegt somit auf 0 Volt. Nun sind 0 Volt erheblich weniger als + 3,4 V (0 Volt minus 3,4 Volt = −3,4 Volt). Damit liegt am invertierenden Eingang die *kleinere* Spannung: Der Ausgang bleibt in der positiven Sättigung.

Was geschieht nun, wenn der Taster 1 gedrückt wird?

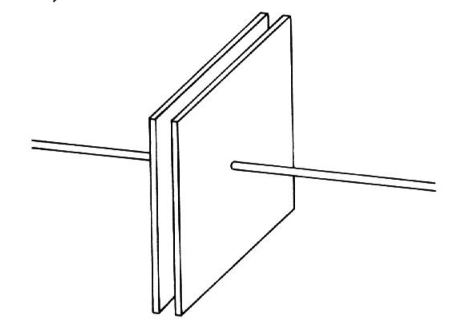
Bein 9 wird dadurch mit der Batteriespannung von + 4,5 V verbunden. Die Verhältnisse haben sich grundlegend geändert. Am invertierenden Eingang 9 liegt jetzt eine *größere* Spannung als am Bein 10 (+ 4,5 V−3,4 V = + 1,1 V): Der Komparator kippt, der Ausgang geht in die negative Sättigung. Läßt man den Taster los, liegt Bein 9 wieder auf Masse. Da aber am Ausgang inzwischen die Polarität umgedreht wurde, liegt Bein 10 jetzt auf −3,4 V. Damit bleibt die Spannung am invertierenden Eingang *größer,* und auch der Ausgang bleibt auf −4,3 V. Wird der Taster 2 gedrückt, läuft derselbe Vorgang in umgekehrter Richtung ab. Der Witz beim Flip-Flop – auch bistabile Kippstufe genannt – ist also, daß ein kurzzeitiger Kontaktschluß genügt, um einen Umschaltvorgang auszulösen. Auch wenn dieselbe Taste mehrmals gedrückt würde, bliebe der Schaltzustand erhalten. Er ist stabil.

8. Der Kondensator: Ein Elektronenspeicher

Die Blinklichtschaltung enthält neben den bekannten Bauelementen einen Kondensator.

Wie ist er aufgebaut, und wie funktioniert er?

Der einfachste Kondensator besteht aus zwei Metallplatten, zwischen denen sich „nichts" befindet. Die Anführungsstriche deshalb, weil „nichts" das Vakuum bedeutet, also einen luftleeren Raum (Bild 51).


Bild 51. Zwischen den Platten des idealen Kondensators befindet sich „nichts" (Vakuum).

Die Kondensatoren unserer Experimentierausrüstung haben zwischen ihren Platten nun allerdings kein Vakuum, sondern einen Isolierstoff, z. B. Kunststoffolie. Man nennt einen Isolierstoff zwischen zwei Kondensatorplatten Dielektrikum (Bild 52).

Das einigermaßen verblüffende Verhalten eines Kondensators zeigt uns der folgende Versuch:

Der 100-nF-Kondensator befindet sich in einem

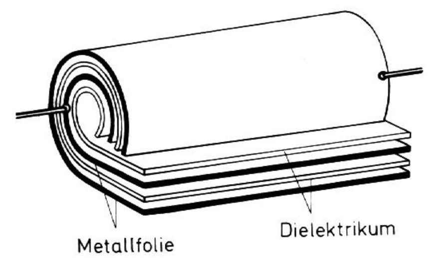


Bild 52. Schema eines Wickelkondensators

Stromkreis mit der Batterie und dem Meßinstrument, das in diesem Fall ausnahmsweise ohne Schutzwiderstand betrieben wird (Bild 53).

Wird der Strom eingeschaltet, erfolgt ein kleiner, aber deutlich sichtbarer Zeigerausschlag. Es ist offensichtlich kurzzeitig ein Strom geflossen!

Die Batterie wird nun abgeschaltet und das Instrument direkt an den Kondensator angeschlossen. Der Zeiger schlägt nun kurz nach links aus (Bild 54).

Daß trotz des Isolators zwischen den Kondensatorplatten kurzzeitig ein Strom geflossen ist, scheint al-

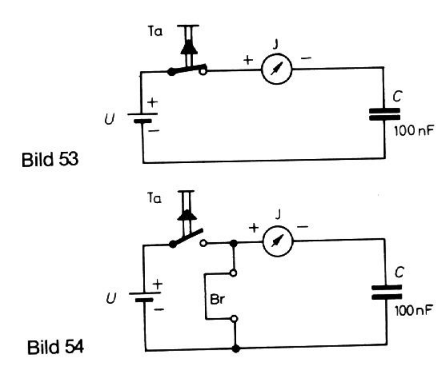


Bild 53

Bild 54

les bisher Dagewesene auf den Kopf zu stellen, denn durch den Isolator (oder durch das Vakuum) wird doch der Stromkreis unterbrochen!

Das Geheimnis eines Kondensators liegt in der „Fernwirkung" von elektrischen Ladungen; diese Beeinflussung auf Distanz soll nun etwas mehr beleuchtet werden.

8.1 Wirkung aus der Ferne

Was machen zwei Elektronen, die wir in Gedanken an zwei Fäden im luftleeren Raum aufhängen?

Sie üben eine Kraft aufeinander aus, und da sie die gleiche (negative) Ladung tragen, stoßen sie sich ab. Umgekehrt würden sich zwei entgegengesetzt gepolte Ladungen anziehen.

Kräfte dieser Art, man nennt sie elektrische Feldkräfte, sind auch für das Funktionieren unseres Kondensators als Elektronenspeicher verantwortlich.

Wenn wir zwei Metallplatten in einem Abstand anordnen und auf eine der Platten von außen eine Anzahl Elektronen aufbringen, so üben diese Elektronen auf ihre gleichgepolten Artgenossen, die auf der anderen Platte von Hause aus vorhanden sind, eine abstoßende Kraft aus (Bild 55). Die zweite Platte verarmt dadurch an Elektronen, wenn wir dafür Sorge tragen, daß die abgestoßenen Elektronen abfließen können. Dies geschieht z. B. dadurch, daß wir die Platten mit einer Batterie, so wie wir es gemäß Bild 53 getan haben, verbinden.

Die Dinge liegen nun so: Aus der Batterie wurden vom Minuspol etliche Elektronen auf die eine Platte befördert. Die auf der gegenüberliegenden Platte

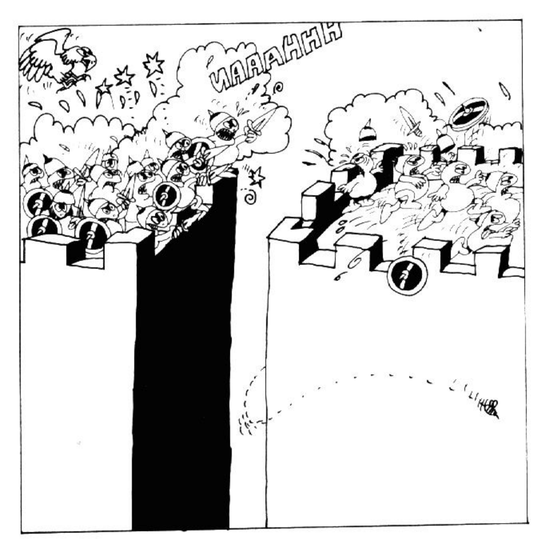


Bild 55. So etwa kann man sich die Fernwirkung der elektrischen Feldkräfte vorstellen.

abgestoßenen Elektronen fließen zum elektronenarmen Pluspol der Batterie; von dort werden sie wegen der entgegengesetzten Polarität ja angezogen.

Wenn in diesem Zustand die Leitungen zur Batterie unterbrochen werden, so bleibt der Ladezustand des Kondensators erhalten: Auf der einen Platte befinden sich zusätzliche Elektronen, von der anderen ist die entsprechende Anzahl in der Batterie verschwunden. Der Kondensator ist geladen, er ist selbst zur Batterie geworden mit einem elektronenreichen Minuspol und einem elektronenarmen Pluspol. Der Kondensator hat Ladung gespeichert.

Werden die beiden Platten (z. B. über das Meßinstrument) miteinander verbunden, so findet ein Ladungsausgleich statt, der Kondensator entlädt sich und wird wieder neutral.

Was passiert, wenn der Raum zwischen den beiden Kondensatorplatten mit einem Isolierstoff ausgefüllt wird?

Der Kondensator kann mehr Ladung speichern, weil die Kraftwirkung nicht mehr über die volle Distanz von Platte zu Platte erfolgt, sondern von Isolatoratom zu Isolatoratom weitergegeben wird.

Wie ist diese Weitergabe vorstellbar?

Durch die elektrischen Feldkräfte werden die Atome des Isolators deformiert, d. h. ihre Elektronenhüllen werden von der mit zusätzlichen Ladungen besetzten Kondensatorplatte abgestoßen. Der Atomkern sitzt nun nicht mehr im Zentrum der Elektronenhülle. Ein dergestalt deformiertes Atom heißt elektrischer Dipol.

Die Fähigkeit eines Kondensators, Elektronen zu speichern, nennt man Kapazität. Sie wird mit dem Buchstaben *C* abgekürzt und in Farad F (nach dem englischen Physiker Faraday, 1791–1867) bzw. millionstel Teilen (μF = Mikrofarad), milliardstel Teilen (nF = Nanofarad) oder sogar in billionstel Teilen (pF = Picofarad) eines Farads angegeben.

Wovon hängt das Fassungsvermögen eines Kondensators ab?

1. Von der Größe der Kondensatorfläche (die Dicke der Kondensatorplatte spielt keine Rolle, da die kraftausübenden Elektronen nur auf der Oberfläche sitzen).

2. Vom Abstand der Kondensatorplatten.

3. Vom Stoff, der sich zwischen den Platten befindet, also vom Dielektrikum.

Kleidet man diese drei Bedingungen in eine Formel, dann ergibt sich: Kapazität =

$$\text{Dielektrizitätskonstante} \cdot \left[\frac{\text{Plattenfläche}}{\text{Plattenabstand}}\right]$$

$$C = \varepsilon \cdot \frac{S}{d} \qquad \text{(F6)}$$

Die Dielektrizitätskonstante ε (griechischer Kleinbuchstabe Epsilon) gibt an, um wieviel die Kapazität eines Kondensators durch das Einbringen eines Isolierstoffes zwischen die Platten gegenüber dem Kondensator im Vakuum vergrößert wurde. ε wird daher in zwei Teile aufgespalten:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r$$

ε_0 = Dielektriziätskonstante im Vakuum (absolute Dielektrizitätskonstante)
= $0{,}08859 \cdot 10^{-12}$ As/(Vcm)

ε_r = Dielektrizitätskonstante eines Stoffes (relative Dielektrizitätskonstante)

ε_r von einer Reihe von Stoffen gibt die folgende Tabelle an.

Tabelle 4: Relative Dielektrizitätskonstanten verschiedener Stoffe

Material	ε_r
Hartpapier	3,5 . . . 4
Preßspan	2,5
Porzellan	5,4 . . . 6,4
Glas	3,4 . . . 6
Glimmer	5 . . . 8
Luft	1,0006

Nach Formel F 6 steigt die Kapazität eines Kondensators an, wenn seine Plattenfläche größer wird. Eine Vergrößerung der Plattenfläche kann auch durch Parallelschalten von Kondensatoren erreicht werden:

Parallelschaltung: $C_{ges} = C_1 + C_2$ (F8)

Schaltet man Kondensatoren in Serie, so gilt:

Serienschaltung: $\frac{1}{C_{ges}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \ldots$ (F9)

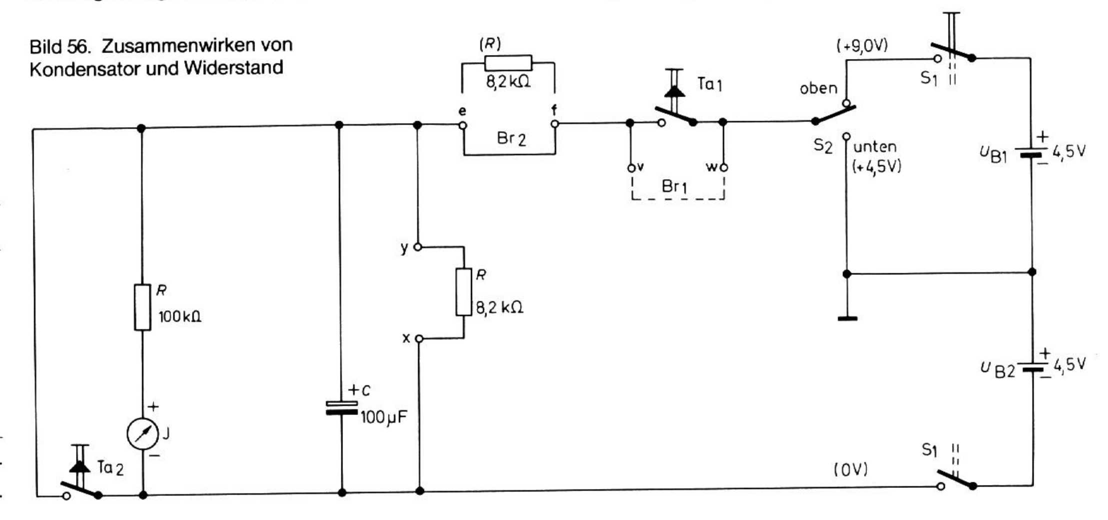
8.2 Gebremster Spannungsanstieg

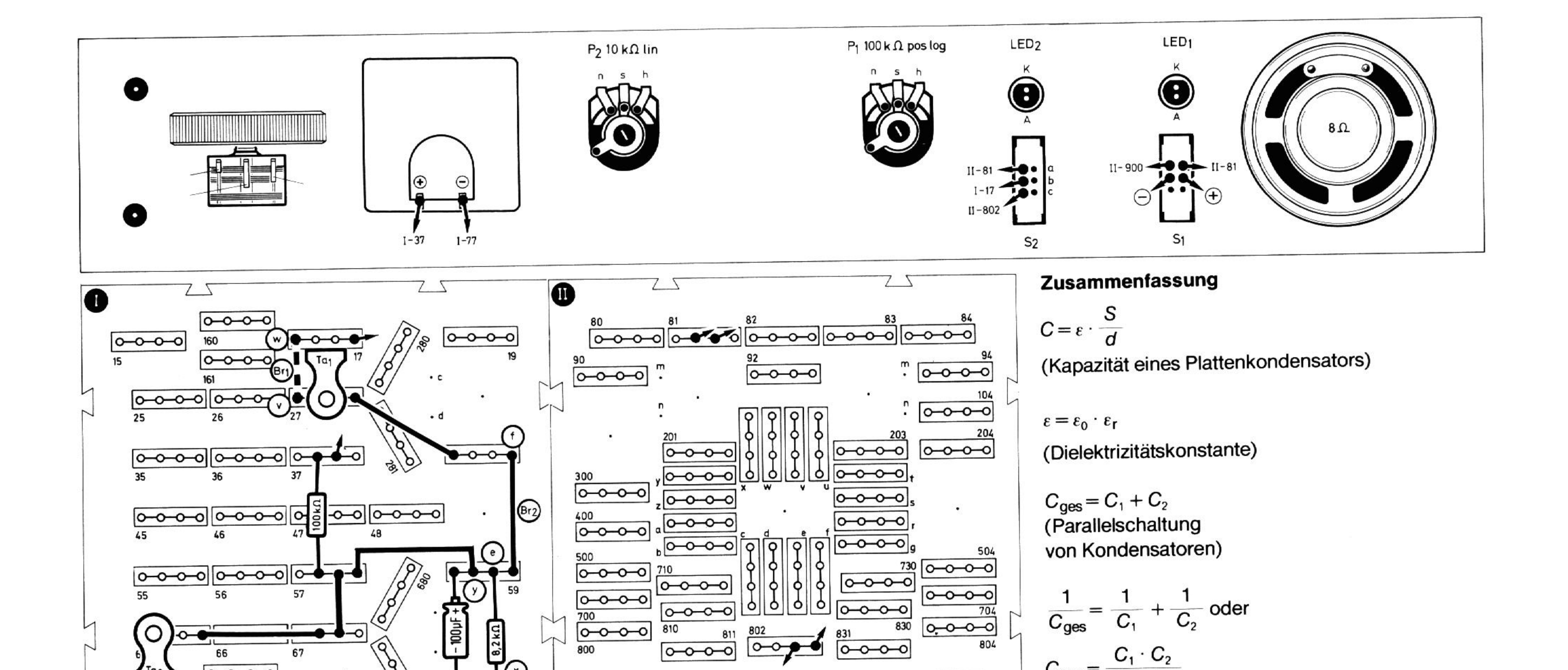
Neben den merkwürdigen Eigenschaften des Kondensators, die wir im letzten Kapitel kennengelernt haben, gibt es noch eine seltsame Erscheinung, die auftritt, wenn Kondensatoren und Widerstände zusammenwirken.

Eine Versuchsanordnung zeigt Abb. 57. Bild 56 ist das zugehörige Schaltbild. Untersucht wird das Verhalten des Elektrolyt-Kondensators (Elko) 100 μF im Zusammenspiel mit dem 8,2-kΩ-Widerstand. Schalter S_2 wird zuerst nach oben geschaltet (9 V), eine Brücke zwischen e und f und der 8,2-kΩ-Widerstand zwischen y und x eingesteckt. Nun wird Taster 1 gedrückt; das Meßinstrument zeigt sofort die volle Batteriespannung an, der Kondensator ist geladen. Läßt man Taster 1 los, sinkt die Spannung am Instrument erst rasch, dann immer langsamer ab. Es dauert etwa 0,5 Sekunden, bis die Spannung am Kondensator auf den halben Wert der Ladespannung, also auf 4,5 V abgefallen ist.

Derselbe Versuch wird nach Herunterschalten von Schalter 2 (4,5 V) wiederholt. Obwohl die Ladespannung jetzt geringer ist, dauert es wieder etwa 0,5 Sekunden, bis sie auf die Hälfte (also auf 2,25 V) abgesunken ist. Die Entladezeit eines Kondensators ist offensichtlich nicht von der Höhe der Batteriespannung abhängig!

Bild 56. Zusammenwirken von Kondensator und Widerstand





Zusammenfassung

$$C = \varepsilon \cdot \frac{S}{d}$$

(Kapazität eines Plattenkondensators)

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r$$

(Dielektrizitätskonstante)

$$C_{ges} = C_1 + C_2$$

(Parallelschaltung von Kondensatoren)

$$\frac{1}{C_{ges}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \text{ oder}$$

$$C_{ges} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

(Serienschaltung von Kondensatoren)

Bild 57. Aufbaubild Zusammenwirken von Kondensator und Widerstand

Wird der Kondensator über einen Widerstand aufgeladen, so finden wir dieselbe Erscheinung beim Ladevorgang wieder: Schalter 2 wieder nach oben, 8,2-kΩ-Widerstand anstelle der Brücke zwischen e und f einstecken, mit der Brücke den Taster bei v und w überbrücken: y und x werden nicht verbunden.

Durch Drücken von Taster 2 wird der Kondensator zunächst vollständig entladen, bis das Instrument 0 anzeigt. Beim Loslassen des Tasters beginnt der Ladevorgang. Nach Umschalten an Schalter 2 auf 4,5 V wird der Vorgang mit verminderter Ladespannung wiederholt.

Eine graphische Darstellung von Lade- und Entladevorgang zeigen die Abbildungen 58 und 59.

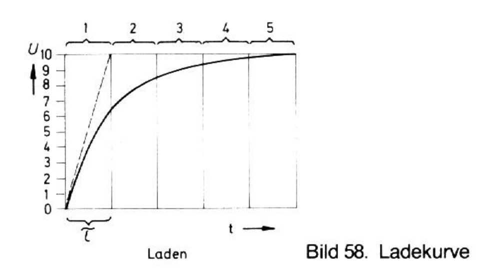


Bild 58. Ladekurve

Man sieht, daß die Gesamtlade- bzw. Entladezeit in fünf Zeitabschnitte zerlegt ist. Der Zeitabschnitt τ (griechischer Kleinbuchstabe Tau) heißt Zeitkonstante, und berechnet sich zu

$$\tau = R \cdot C \quad \text{(F10)}$$

τ ist unabhängig von der Batteriespannung und gibt die Zeit an, in der beim Ladevorgang 63,2% der Batteriespannung erreicht wird; beim Entladevorgang diejenige Zeit, nach der die Spannung am Kondensator auf 36,8% ihres ursprünglichen Wertes abgesunken ist. Die Zeitkonstante τ konnte in den vorangegangenen Versuchen natürlich meßtechnisch nicht erfaßt werden, da es ziemlich schwierig sein dürfte, 36,8% von 9 V bzw. 4,5 V zum richtigen Zeitpunkt abzulesen.

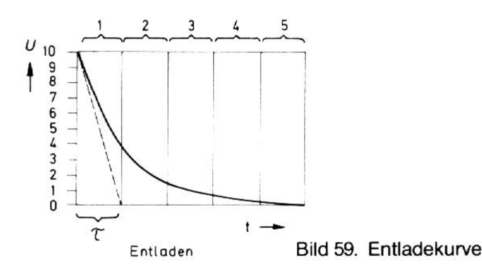


Bild 59. Entladekurve

Die Tabelle 5 zeigt noch einmal, in Wertepaaren, die Rolle der Zeitkonstante τ beim Lade- und Entladevorgang.

Tabelle 5: Lade- und Entladevorgang am Kondensator

Entladen:	**Laden:**
Entladespannung sinkt nach	Ladespannung steigt nach
1 τ auf 36,8%	1 τ auf 63,2%
2 τ auf 13,5%	2 τ auf 86,5%
3 τ auf 4,98%	3 τ auf 95,02%
4 τ auf 1,83%	4 τ auf 98,17%
5 τ auf 0,67%	5 τ auf 99,33%

9. Komparatoranwendungen – Teil 2

9.1 Blinklicht unter der Zeitlupe

Da wir jetzt erfahren haben, wie ein Kondensator funktioniert, ist es leicht, die Arbeitsweise unseres Blinklichtes zu verstehen.

Zum Verständnis des im rechten Teil von Schaltung 48 gezeichneten Warnblinkers gehen wir so vor, wie wir es beim Flip-Flop getan haben: Wir nehmen zunächst an, daß der Ausgang 7 des Operationsverstärkers im Moment des Einschaltens auf einem der Sättigungspunkte liegt, und betrachten, was passieren kann.

Der Ausgang 7 liege z. B. auf + 4,3 V. Die LED leuchtet. Am nichtinvertierenden Eingang 5 liegt ein Teil der Ausgangsspannung, etwa 1,5 V. Im Moment des Einschaltens sei der Kondensator ungeladen. Er wird nun über den 1-MΩ-Widerstand aufgeladen.

Die Kondensator-Ladespannung und damit auch die Spannung am invertierenden Eingang 6 wächst also langsam an, bis sie den Wert von 1,5 V geringfügig übersteigt. Schlagartig geht nun der Ausgang 7 in die negative Sättigung, die Leuchtdiode geht aus. Am Eingang 5 liegt nun auch eine negative Spannung, der Kondensator kann jedoch über den 1-MΩ-Widerstand nur langsam auf negative Spannung umgeladen werden. Der Umladevorgang dauert so lange, bis die Spannung am Eingang 6 geringfügig negativer wird als Bein 5. Dann kippt der Komparator wieder um.

Der Komparator kann also keine endgültige stabile Stellung einnehmen, es findet automatisch ein ständiges Laden und Umladen statt. Man bezeichnet diese Schaltung deshalb auch als astabilen Multivibrator.

9.2 Doppelt hält besser

Unsere automatische Eisenbahn-Warnanlage aus Kapitel 7.1 läßt sich mit zwei Handgriffen zu einer Doppel-Warnanlage umbauen. Wir ziehen den 1,5-kΩ-Widerstand heraus und ersetzen ihn durch die zweite Leuchtdiode, die in Schaltbild 48 gestrichelt eingezeichnet ist. Es ist jedoch unbedingt darauf zu achten, daß die zweite Leuchtdiode ,,antiparallel" zu der ersten Diode geschaltet wird (das Wort antiparallel oder gegensinnig hatten wir bereits bei unserem Polprüfer kennengelernt), sonst bleibt der gewünschte Effekt aus.

Was tut der Doppelwarnblinker?

Die beiden Leuchtdioden blinken abwechselnd: wenn Diode 1 aufleuchtet, ist Diode 2 dunkel; wenn 2 aufleuchtet, ist 1 dunkel. Die Erklärung für dieses

Verhalten ist sehr einfach und dürfte nach allem, was wir über den Operationsverstärker und die Leuchtdioden wissen, keinerlei Schwierigkeiten bereiten.

Durch das Umladen des Kondensators „schwingt“ der Operationsverstärker-Ausgang ständig zwischen der negativen und der positiven Sättigung hin und her. Eine Leuchtdiode leuchtet jedoch nur, wenn sie richtig gepolt ist. Da wir jedoch listigerweise zwei Leuchtdioden antiparallel geschaltet haben, ist eine von beiden immer richtig gepolt.

Je nachdem, in welchem Sättigungspunkt der Operationsverstärkerausgang sich befindet, leuchtet also die eine oder andere Leuchtdiode.

9.3 Das leise Lied vom Knarren und Pfeifen

Ob nun Klänge aus dem Weltall einen Science-Fiction-Film begleiten oder eine Orgel heiße Rhythmen spielt, heutzutage wird solche Musik gewöhnlich elektronisch erzeugt. Eine derartige Tonerzeugung erfolgt dabei oft mit dem uns bereits bekannten astabilen Multivibrator. Die Schaltung wird gemäß Bild 60 etwas abgeändert. Damit wir die Tonhöhe verstellen können, ist ein Potentiometer vorgesehen; zu den beiden Leuchtdioden gesellt sich noch der Lautsprecher.

Auf das Umkippen des Komparators von der positiven in die negative Sättigung reagiert der Lautsprecher mit einem deutlichen Knackgeräusch. Seine Membran wird im Umschaltmoment etwas nach innen gezogen oder nach außen gedrückt. Dabei wird die umgebende Luft angestoßen, und es entsteht ein wahrnehmbarer Schallimpuls.

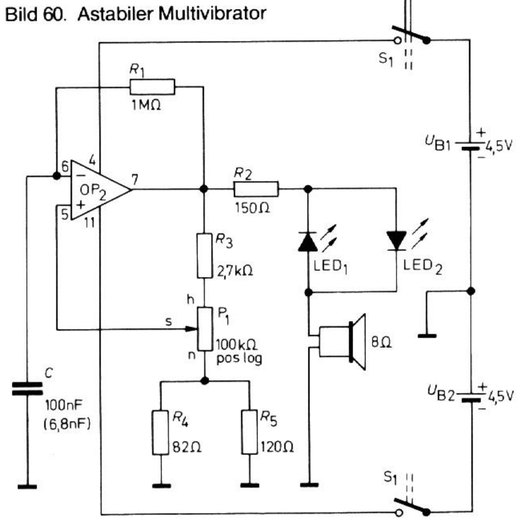
Wir bauen die Schaltung nach Bild 61 auf, drehen den Knopf des Potis im Uhrzeigersinn an den rechten Anschlag und schalten S_1 ein. Sofort beginnen die beiden LEDs abwechselnd ungefähr im Sekundentakt zu blinken, und jedesmal, wenn die eine LED erlischt und die andere angeht, hören wir ein leises Knackgeräusch aus dem Lautsprecher.

(Hören wir statt dessen einen hohen Ton, obwohl das Potentiometer auf Rechtsanschlag steht, so sind die Anschlüsse von P_1 vertauscht. Wir sollten das richtig stellen, damit der folgende Versuch gelingt.)

Drehen wir P_1 nun langsam ein wenig linksherum, so wird der Blinkrhythmus schneller, und das Knakken, das vorher ungefähr zweimal je Sekunde hörbar war, geht in ein Knattern über.

Drehen wir P_1 noch weiter nach links, so wird aus dem Wechselblinken ein Flimmern und aus dem Knattern ein Knarren. Wenn wir P_1 jetzt langsam ganz bis zum linken Anschlag drehen, kann das Auge dem Flimmern nicht mehr folgen. Ihm erscheinen beide LEDs nun gleichzeitig ruhig zu leuchten. Für das Ohr wird aus dem Knarren und Knurren ein musikalischer Ton, der immer höher wird, je weiter wir das Poti nach links drehen. Wir erleben, daß Knackimpulse vom Ohr und Lichtimpulse vom Auge ab einer bestimmten „Frequenz“ nicht mehr zu unterscheiden sind und zu einem optischen bzw. akustischen Gesamteindruck verschmelzen.

Bild 60. Astabiler Multivibrator



Unter „Frequenz“ versteht man die Dichte der Impulse je Zeiteinheit. Anstelle von Impulsen spricht man besser von „Perioden“, womit sich wiederholende, gleichartige Vorgänge gemeint sind. So ist z. B. ein Aufblinken von LED_1 zusammen mit ihrem Erlöschen und dem folgenden Aufblinken von LED_2 und deren Erlöschen eine Periode des Wechselblinkers, und mit dem dann folgenden Aufblinken der LED_1 beginnt die nächste Periode.

Für die Frequenz gibt es eine Maßeinheit, das „Hertz“, benannt zu Ehren des deutschen Physikers Heinrich Hertz (1857–1897). Diese Maßeinheit wird mit Hz abgekürzt. Wenn wir sagen, daß der Wechselblinker je Sekunde 25 Perioden durchläuft, so heißt das technisch, er blinkt mit 25 Hz. Unser astabiler Multivibrator läßt sich auf Frequenzen einstellen, die im Bereich zwischen ungefähr 4 Hz und 900 Hz liegen.

Ein weiterer Versuch zeigt uns eine Besonderheit des Potentiometers P_1. Wenn wir dessen äußere Anschlüsse gegeneinander vertauscht anschließen, so steigt der Ton natürlich an, wenn wir statt nach links, nach rechts drehen.

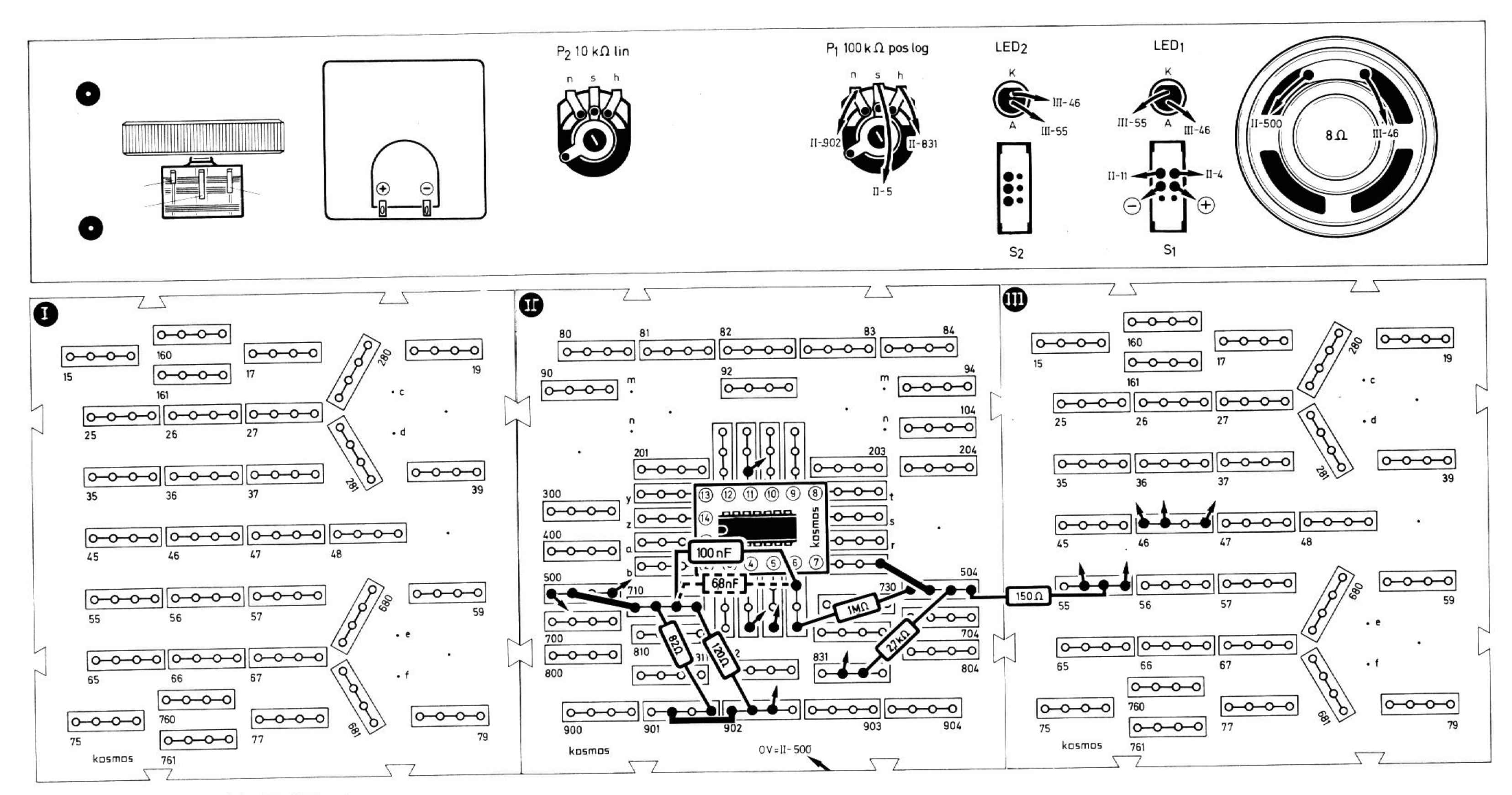


Bild 61. Aufbaubild astabiler Multivibrator

Es gibt aber dabei die Besonderheit, daß der Ton vom Knurren gleich auf einen hohen Endwert springt, wenn wir uns dem rechten Anschlag nähern. Die Zwischentöne lassen sich nicht einstellen. Dies rührt von der Ungleichheit der beiden Hälften der Kohlebahn dieses Potis her, das wegen dieser Eigenschaft „logarithmisches" Potentiometer genannt wird. Wir stellen die Poti-Anschlüsse wieder richtig und wenden uns dem nächsten Versuch zu.

Man kann die Tonhöhe nicht nur durch Verstellen von P_1 beeinflussen, sondern auch durch Einsetzen eines anderen Kondensators. Wir ziehen den 100-nF-Kondensator aus der Schaltung heraus und ersetzen ihn durch einen 6,8-nF-Kondensator. Jetzt reicht der Frequenzbereich unseres astabilen Multivibrators ungefähr von 14 Hz bis 4000 Hz.

10. Meßtechnik

10.1 Die Kraft, die Löffel verbiegt

Natürlich haben wir es in der Elektronik nicht mit Telekinese oder spiritistischen Séancen zu tun, und daher müßte ein Löffel schon von einem sehr starken Strom durchflossen werden, wenn er sich verbiegen sollte. Gehen tut's aber auf jeden Fall, denn jeder stromdurchflossene Leiter ist von einem Magnetfeld umgeben, und wo ein Magnetfeld ist, da ist auch eine Kraft.

Die magnetische Kraftwirkung des elektrischen Stromes macht man sich z. B. bei einem Drehspul-Meßinstrument zunutze, das Abb. 62 schematisch zeigt.

Eine Spule aus haarfeinem Draht ist drehbar zwischen den Schenkeln eines Hufeisenmagneten aufgehängt. Fließt nun durch diese Spule ein Strom, so ruft dieser ein zusätzliches Magnetfeld hervor, wobei ungleichnamige Pole sich anziehen und gleichnamige sich abstoßen: Die Spule dreht sich und mit ihr der Zeiger.

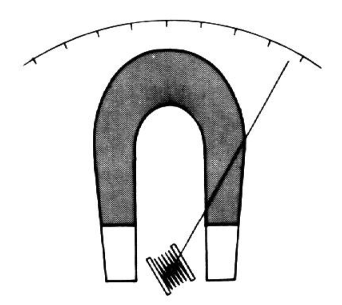


Bild 62. Schema eines Drehspulmeßinstrumentes

Gleichzeitig wird eine kleine Spiral-Feder gespannt, so daß der Zeiger zum Stillstand kommt, wenn Federkraft und magnetische Kraft gleich groß sind. Der Ausschlag des Zeigers entspricht der Stromstärke durch die Spule.

Die Abb. 63 und 64 zeigen, wie ein Meßwerk in der Praxis aufgebaut ist.

Wir erkennen die drehbar gelagerte Spule wieder, die hier auf einen dünnen Rahmen gewickelt ist. An diesem Rahmen ist der Zeiger befestigt und ihm gegenüber ein Gegengewicht als Ausgleich für das Gewicht des Zeigers, so daß der Zeigerausschlag möglichst unabhängig von der Gebrauchslage des Instrumentes wird.

Für größtmögliche Präzision ist unser Meßinstrument jedoch von Hause aus für liegenden Gebrauch bestimmt. Für genaue Messungen stecken wir es daher ausnahmsweise in das Seitenteil, wie es in Teil III, Kap. 61.5 gezeigt ist.

Der Dauermagnet (der Hufeisenmagnet in unserem Schema) befindet sich erstaunlicherweise nicht außerhalb, sondern innerhalb der Spule als Magnetkern. Die Spule kann sich um ihn herumdrehen.

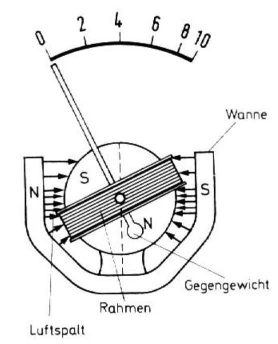


Bild 63. Ein Meßinstrument aus der Praxis

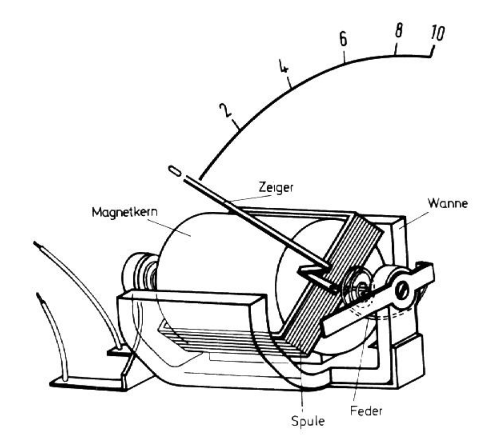


Bild 64. Der Dauermagnet liegt innen, die Spule dreht sich um ihn herum.

Damit den magnetischen Kraftlinien der günstigste Weg gewiesen wird, ist außerhalb der Spule eine Wanne aus magnetischem Werkstoff befestigt, die dafür sorgt, daß die Magnetkraft vorwiegend in dem engen Luftspalt wirkt, in dem sich die Spule drehen kann.

Die magnetischen Kraftlinien sind als (gedachte) Pfeile dargestellt. Wegen der verschiedenen Form von Magnetkern und Wanne sind die Kraftlinien da, wo der Luftspalt auf halber Höhe etwas enger wird, dichter gezeichnet als daneben. Der unterschiedliche Luftspalt hat eine Spreizung der Anzeige in der Skalenmitte zur Folge. Bei unserem Meßinstrument ist diese Spreizung gewissen Toleranzen unterworfen.

10.2 Spannungsstabilisierung: Elektronischer Stoßdämpfer

Wir müssen an dieser Stelle eingestehen, daß die Spannungsmessungen, die wir bislang mit unserem Meßinstrument durchgeführt haben, nicht sehr genau waren. Der Vorwiderstand müßte nämlich nicht 100 kΩ, wie wir ihn verwendet haben, sondern exakt 98,8 kΩ sein, da das Instrument – wie bereits früher gesagt wurde – selbst einen Widerstand von 1,2 kΩ hat. In Wirklichkeit ist die Spannungsmessung, die wir durchführen, eine Strommessung; nach dem Ohmschen Gesetz hängen allerdings diese beiden Größen über den Widerstand zusammen: Wenn der gemessene (und vom Instrument angezeigte) Strom z. B. 100 μA (10 Skalenteile) ist, und der Gesamtwiderstand des Stromkreises exakt 100 kΩ beträgt, so ergibt sich nach Formel F 5 die an den Stromkreis angelegte Spannung zu 10 V. 100 μA (am Instrument angezeigt) entsprechen also 10 V, 50 μA entsprechen 5 V, 10 μA entsprechen 1 V usw. Dies stimmt, wie gesagt nur, wenn der Gesamtwiderstand genau 100 kΩ beträgt.

Da außer den im Instrument als Innenwiderstand vorhandenen 1,2 kΩ noch 98,8 kΩ als Vorwiderstand benötigt werden und ein solch krummer Wert schwer zu beschaffen ist, werden wir im übernächsten Abschnitt den geforderten Widerstandswert an einem Poti einstellen.

Wie kann man jedoch wissen, wann an einem Poti genau 98,8 kΩ eingestellt sind?

Als angehende Elektroniker haben wir gelernt, listig zu sein, und so wenden wir auch hier einen ungewöhnlichen Trick an:

Wir beschaffen uns eine Spannung, deren Höhe wir genau kennen und stellen dann das Poti so ein, daß der Zeigerausschlag des Instrumentes der bekannten Spannung entspricht.

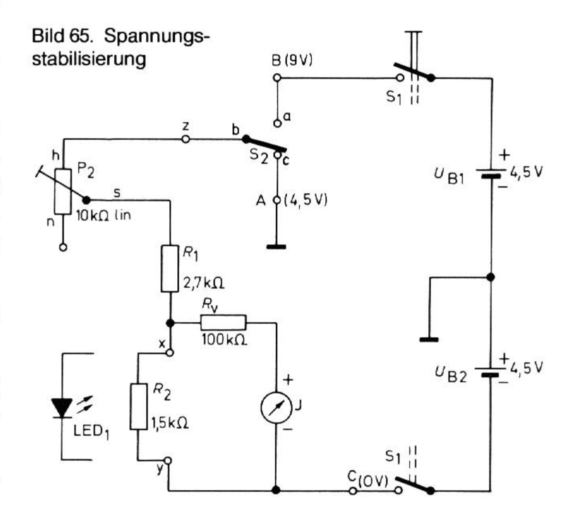
Die Batterien scheiden für unser Vorhaben aus, da ihre Spannung in Abhängigkeit vom entnommenen Strom und vom Lebensalter stark schwankt.

Verblüffenderweise eignet sich eine Leuchtdiode recht gut dazu, eine konstante (gleichbleibende) Spannung herzustellen. Betreibt man z. B. eine rote Leuchtdiode in „Durchlaßrichtung" (also so, daß sie leuchtet), so liegt an ihren Anschlüssen eine Spannung von etwa 1,5 V. Diese Spannung ändert sich nur geringfügig, wenn man den Strom durch die Diode kräftig variiert.

Wir können diese Erscheinung nach Bild 66 und Schaltung 65 näher untersuchen.

Zunächst ist keine Leuchtdiode eingebaut, sondern

Bild 65. Spannungsstabilisierung



zwischen x und y liegt ein 1,5-kΩ-Widerstand. S_2 ist nach unten geschaltet. Wenn wir das Potentiometer von links nach rechts verdrehen, zeigt das Instrument (das hier noch mit dem bekannten 100-kΩ-Widerstand betrieben wird) höhere Ausschläge. Das ist klar, denn wir verkleinern den Gesamtwiderstand des Stromkreises, erhöhen damit den Strom und vergrößern somit den Spannungsabfall an R_2.

Schieben wir den Schalter S_2 nach oben, so verdoppeln wir die am Kreis anliegende Spannung. Dies hat eine Verdoppelung des Stromes und einen doppelt so hohen Spannungsabfall an R_2 zur Folge.

Spannend wird es, wenn R_2 durch eine Leuchtdiode ersetzt wird. (Achtung! Auf richtige Polung achten, sonst Gefahr der Zerstörung!)

Das Meßinstrument zeigt jetzt etwa 1,5 V an. Wenn wir nun das Poti hin- und herdrehen, bleibt die Spannung zwischen x und y konstant, der Zeigerausschlag ändert sich praktisch nicht. Nur die Leuchtdiode wird heller und dunkler.

Selbst wenn wir den Schalter S_2 wieder nach unten schalten, ändert sich die Anzeige des Meßinstruments nicht.

Die Leuchtdiode liefert uns eine konstante Spannung, die in weiten Grenzen vom Strom durch die Diode unabhängig ist. Was wir erreichen wollten, haben wir bewerkstelligt.

Ein Wort zur Bemessung des Vorwiderstandes von Leuchtdioden: Er sollte so gewählt sein, daß die Leuchtdiode von einem Strom von etwa 20 mA durchflossen wird. Das bringt ausreichende Helligkeit.

Bild 67 gibt eine Hilfe, wie der Vorwiderstand be-

Bild 66. Aufbaubild Spannungsstabilisierung

rechnet werden kann: die Spannung U_2 an der Leuchtdiode ist bekannt (1,5 V). Vorgegeben ist auch die Batteriespannung U_1. Dann liegt am Widerstand R_V eine Spannung von U_1 minus U_2. Nach dem Ohmschen Gesetz treibt diese Spannung einen Strom von

$$I = \frac{U_1 - U_2}{R_V} \quad \text{(F11)}$$

durch den Widerstand. Will man den Widerstand R_V berechnen, so stellt man F 11 um und erhält

$$R_V = \frac{U_1 - U_2}{I} \quad \text{(F12)}$$

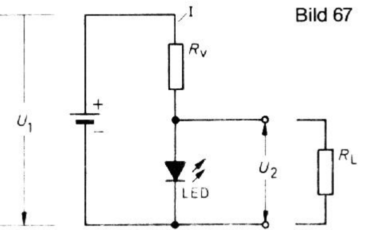


Bild 67

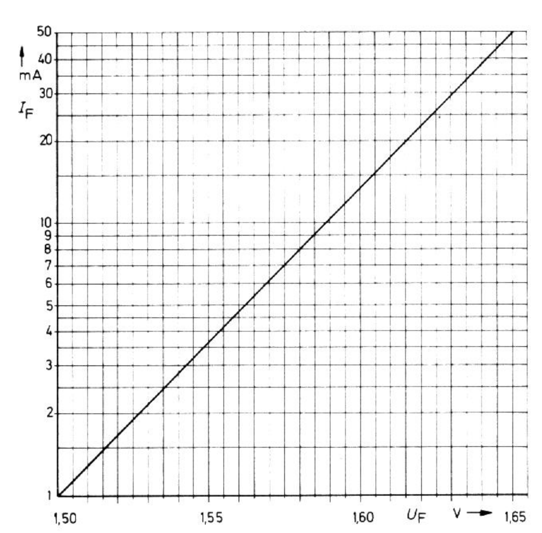


Bild 68. Der Zusammenhang zwischen Durchlaßstrom und -spannung ist logarithmisch.

I wird z. B. zu 20 mA gewählt; ein höherer Strom bringt kaum Zuwachs an Helligkeit, könnte aber (bei mehr als ca. 50 mA) die Diode zerstören.

Wird an die stabilisierte Spannung ein Lastwiderstand R_L angeschaltet, so sollte der Strom durch diesen Widerstand nicht mehr als etwa 1/10 des Leuchtdiodenstromes betragen.

Wir haben gesehen, daß die Durchlaßspannung einer Leuchtdiode (die oft auch als U_F bezeichnet wird) weitgehend unabhängig vom Strom ist. Messungen an vielen Leuchtdioden haben ergeben, daß die Durchlaßspannung bei einem Durchlaßstrom (der entsprechend als I_F bezeichnet wird) von 1 mA etwa 1,50 V und bei 50 mA ungefähr 1,65 V beträgt. Eine Erhöhung des Stromes auf das 50fache hat also lediglich eine 10%ige Spannungsvergrößerung zur Folge!

Da dieser Zusammenhang logarithmisch ist, gibt ihn die Kurve auf Bild 68 im halblogarithmischen Liniennetz wieder.

Übrigens haben Dioden anderer Leuchtfarben ganz andere Werte und andere Kurven.

10.3 Der Weg zu größerer Genauigkeit

Kehren wir jetzt zu unserem Meßinstrument zurück.

Unserer Experimentierausrüstung liegt eine „Meßplatine" bei, die eine Serienschaltung von 82 kΩ und 47 kΩ (als Poti) zwischen den Anschlußstiften m_1 und m_4 hat. Bild 69 zeigt Schaltung und Aufbau dieser Platine. Die Stifte m_2 und m_3 sowie den 100-kΩ-Widerstand und das 10-kΩ-Poti beachten wir zunächst nicht.

Das 47-kΩ-Poti soll nun so eingestellt werden, daß es mit dem 82-kΩ-Widerstand einen Gesamtwiderstand von 98,8-kΩ ergibt.

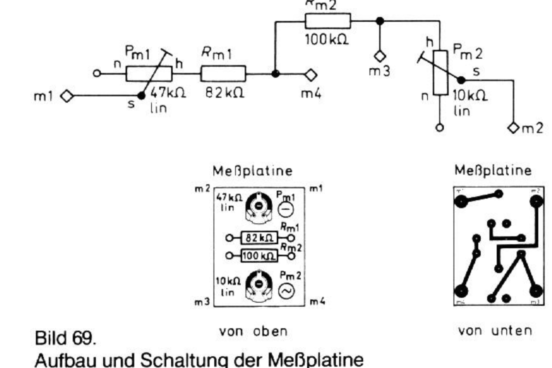


Bild 69.
Aufbau und Schaltung der Meßplatine

Bild 70 zeigt die verwendete Schaltung. Es fällt auf, daß hier zwei Leuchtdioden in Reihe geschaltet sind. Sie bewirken zusammen eine Durchlaßspannung von 3,0 V. R_v besteht aus einer Widerstandskombination von R_1 und R_2. Auf solche Parallelschaltung von Widerständen kommen wir später noch zu sprechen.

Bild 70. Abgleich der Meßplatine des Voltmeters

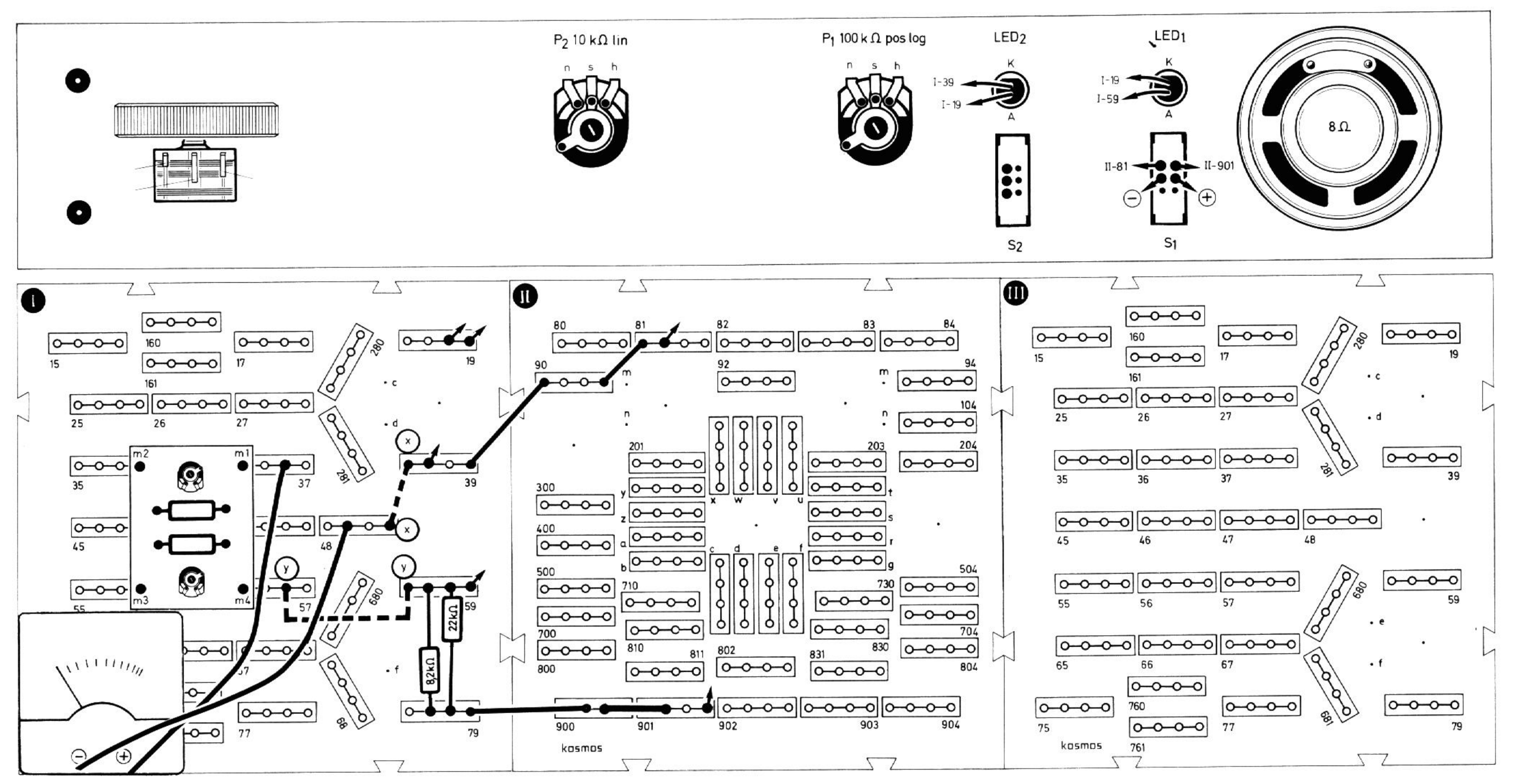


Bild 71. Aufbaubild Abgleich der Meßplatine des Voltmeters

Bild 71 zeigt den Aufbau der Stabilisierungsschaltung. Es muß besonders beachtet werden, daß die Meßplatine genau nach der Abbildung eingesteckt ist und daß die Isolierplatte nicht vergessen wird (siehe auch Aufbauanweisung in Teil III, Kapitel 81).

Das Meßinstrument wird liegend eingebaut, also in das Seitenteil gesteckt.

Zum Einstellen (der Fachmann sagt „abgleichen") verbinden wir die Steckfeder I/48 mit I/39 und die Steckfeder I/57 mit I/59, also x mit x und y mit y auf Bild 71.

Nun verstellen wir P_{m1} auf der Meßplatine, bis der Zeiger genau auf dem Teilstrich 3 steht. Sollte für

den Einstellschlitz des Potis kein passender Schraubenzieher vorhanden sein, können wir auch eine Ecke des Kupferblechstreifens zum Einstellen verwenden.

Da sich Teilstrich 3 im gespreizten Bereich der Skala befindet, ist der Meßfehler des Voltmeters jetzt geringer geworden.

Das Voltmeter aus Meßplatine und Meßinstrument nach Bild 71 ist nun immer einsatzbereit, solange wir das Poti P_{m1} nicht verändern. Wenn wir Spannungen an Schaltungen messen wollen, bei denen die Aufbauplatte I besetzt ist, können wir die Meßplatine natürlich auch an eine andere gerade freie Stelle des Aufbaues stecken und sinngemäß anschließen. Die als Spannungsnormal benutzte Stabilisierungsschaltung brauchen wir nur noch, wenn P_{m1} versehentlich verstellt wurde oder wir die Meßplatine zusammen mit einem anderen Instrument verwenden wollen und P_{m1} deshalb nachstellen müssen.

11. Stromverzweigung und Kirchhoffsche Regeln

11.1 Getrennt marschieren, vereint schlagen

Was als Kriegsstrategie gilt, kann man auch auf Elektronen anwenden, wenn mehr Strom fließen soll, als ein einzelner Widerstand durchlassen kann. Die taktische Maßnahme heißt in diesem Falle: Dem Strom einen zweiten Weg anbieten. Dies ist durch Parallelschalten von Widerständen möglich.

Bild 72 zeigt das Beispiel einer Parallel-Schaltung (Aufbaubild 73 a).

Es werden drei Messungen durchgeführt, indem nacheinander die jeweiligen Brücken herausgezogen und an ihrer Stelle das Meßinstrument eingesteckt wird.

Durch den 330-kΩ-Widerstand fließen 27 μA (= 2,7 Skalenteile auf dem Instrument), durch den 1-MΩ-Widerstand zusätzliche 9 μA; dies bestätigt uns die Messung am Punkt 3, an dem wir die Summe beider Ströme, nämlich 36 μA messen.

Folgende Formel für den Gesamtstrom kann man aus den Messungen direkt ablesen:

$I_{ges} = I_1 + I_2$ (Summe der Einzelströme) (F13)

Setzen wir nach Ohmschem Gesetz

$$I_1 = \frac{U}{R_1} \text{ und } I_2 = \frac{U}{R_2}$$

in Formel 13 ein, so erhalten wir

$$I_{ges} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} = U \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$$

Der Gesamtwiderstand einer Parallelschaltung ist

$$R_{ges} = \frac{U}{I_{ges}} = \frac{U}{U \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad \text{(F14)}$$

Beispiel: $R_1 = 1\ \text{M}\Omega$, $R_2 = 330\ \text{k}\Omega = 0{,}33\ \text{M}\Omega$

$$R_{ges} = \frac{1\ \text{M}\Omega \cdot 0{,}33\ \text{M}\Omega}{1{,}33\ \text{M}\Omega} = 0{,}248\ \text{M}\Omega = 248\ \text{k}\Omega$$

Durch das Parallelschalten eines 1-MΩ- und eines 330-kΩ-Widerstandes ist also derselbe Effekt erzielt worden, als hätten wir einen einzelnen 248-kΩ-Widerstand. Mit der Strategie „getrennt marschieren, vereint schlagen", läßt sich also mit wenigen Widerständen eine große Anzahl von verschiedenen Werten herstellen.

Taucht das Problem auf, daß durch Parallelschalten eines Widerstandes R_x zu einem gegebenen Widerstand R_1 ein gewünschter Gesamtwiderstand hergestellt werden soll, so kann Formel F 14 umge-

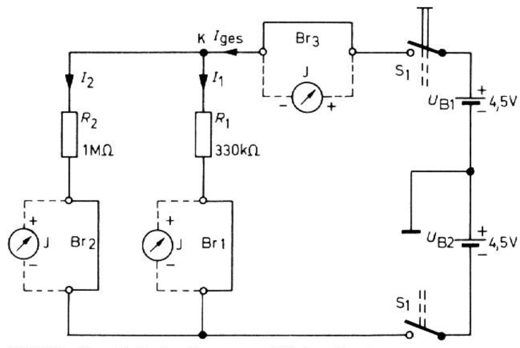
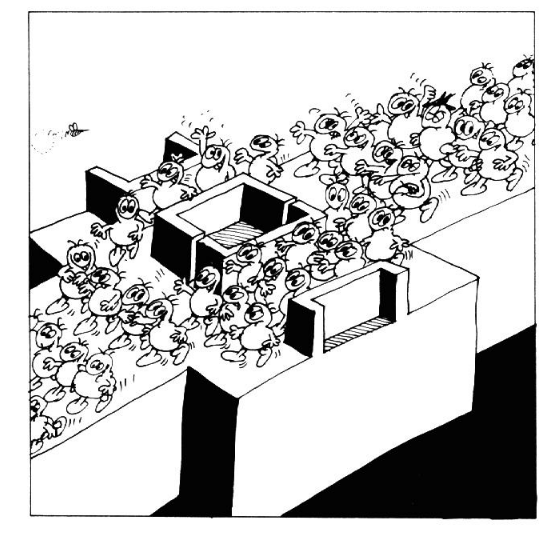


Bild 72. Parallelschaltung von Widerständen

Bild 72 a. Stromverzweigung: Der Gesamtstrom besteht aus der Summe der Teilströme.



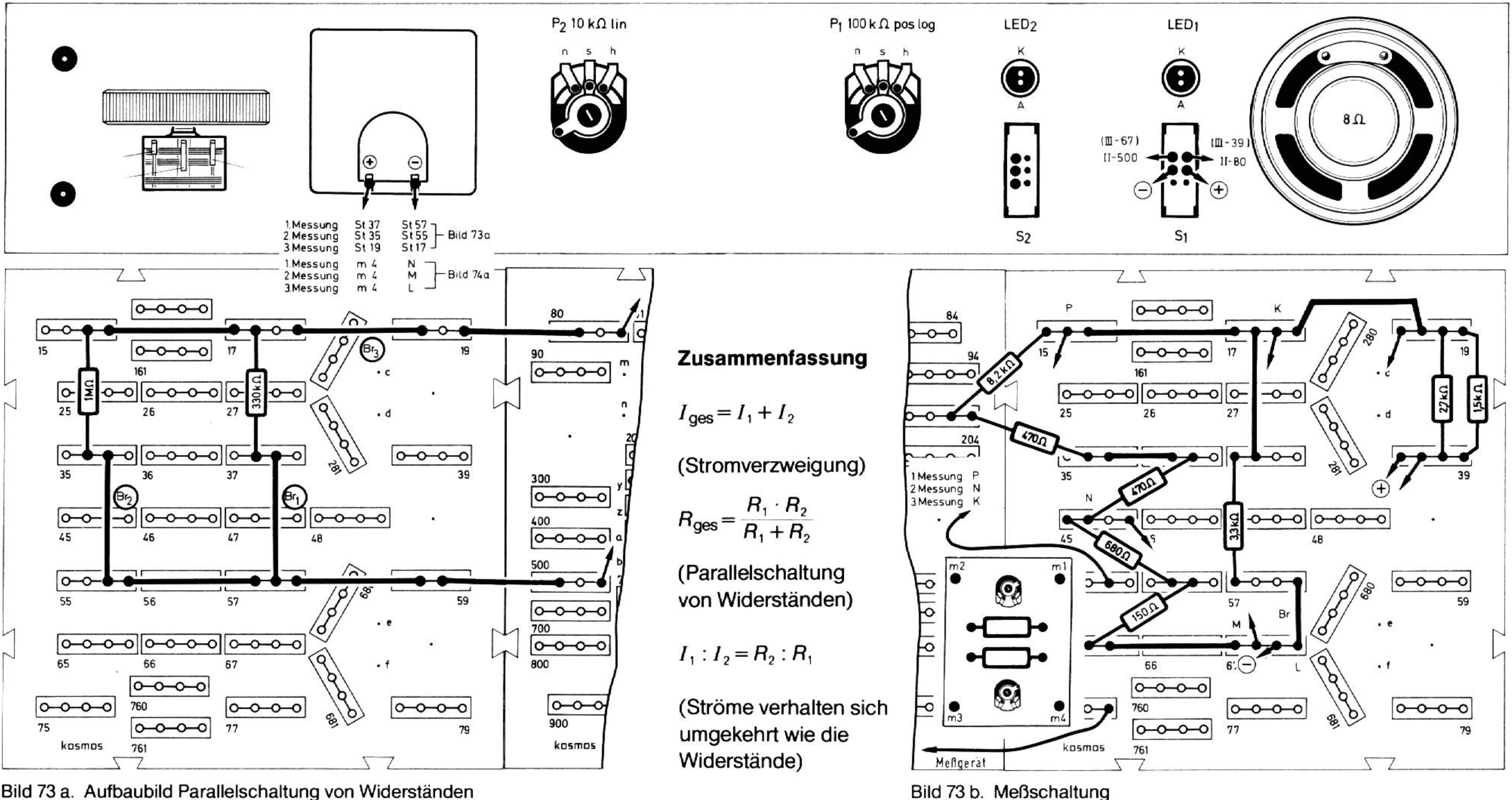


Bild 73 a. Aufbaubild Parallelschaltung von Widerständen

Bild 73 b. Meßschaltung

Zusammenfassung

$I_{ges} = I_1 + I_2$

(Stromverzweigung)

$$R_{ges} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

(Parallelschaltung von Widerständen)

$I_1 : I_2 = R_2 : R_1$

(Ströme verhalten sich umgekehrt wie die Widerstände)

stellt und der unbekannte Widerstand direkt bestimmt werden:

$$R_x = \frac{R_1 \cdot R_{ges}}{R_1 - R_{ges}} \quad \text{(F15)}$$

11.2 Der Strom geht den Weg des geringsten Widerstandes

Bei den Messungen im vorangegangenen Kapitel fiel auf, daß durch den *größeren* Widerstand der *kleinere* Strom, durch den *kleineren* Widerstand der *größere* Strom fließt.

Die Ströme verhalten sich also umgekehrt wie die Widerstände:

$$I_1 : I_2 = R_2 : R_1 \quad \text{(F16)}$$

11.3 Die Regeln des Herrn Kirchhoff

Nach den Ergebnissen des vorletzten Kapitels klingt die erste Kirchhoffsche Regel schon selbstverständlich: „An jedem Verzweigungspunkt (Knotenpunkt) mehrerer Leiter ist die Summe der zufließenden Ströme gleich der Summe der abfließenden Ströme."

Was in unserem Knotenpunkt K nach Bild 72 als I_{ges} (36 μA) hineinfließt, das fließt als I_1 (27 μA) und I_2 (9 μA) getrennt wieder heraus. Dies wird auch als Stromverzweigung bezeichnet. Gibt man den zufließenden Strömen ein positives und den abfließenden Strömen ein negatives Vorzeichen, so ergibt die Zusammenrechnung in jedem Knotenpunkt Null.

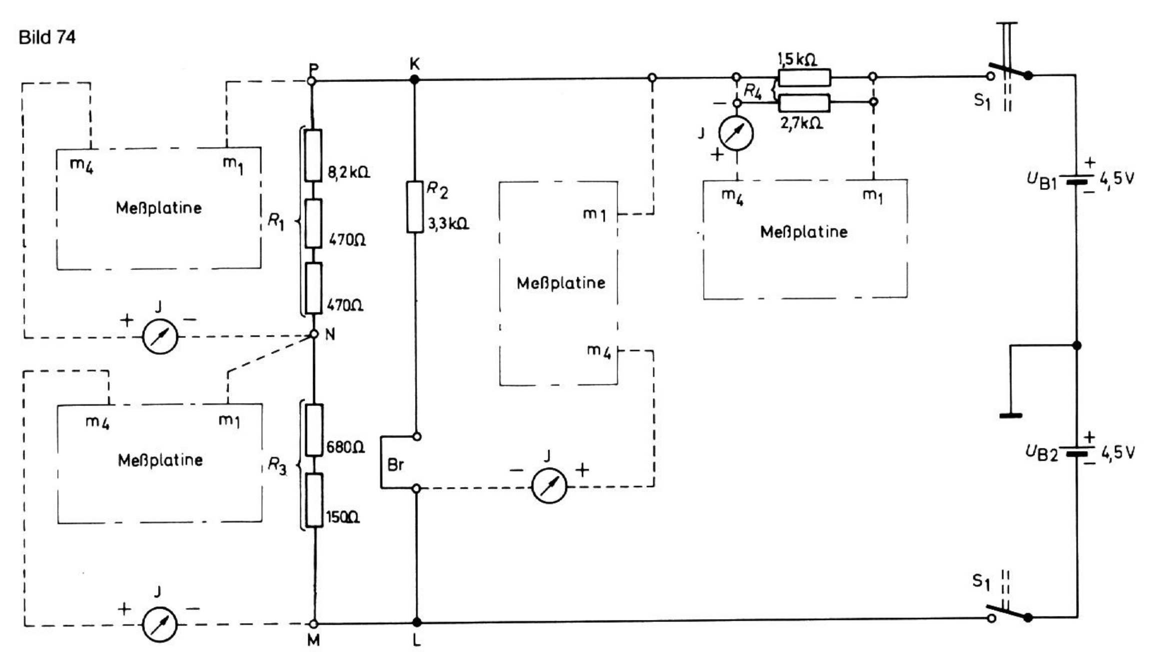
Diese Regel stellte der deutsche Physiker Gustav Robert Kirchhoff (1824–1887) auf, der sich eingehend mit Stromverzweigungen in Widerstandsnetzwerken beschäftigt hat.

Übrigens hat Herr Kirchhoff noch eine zweite Regel aufgestellt, sie bezieht sich auf Spannungen und die Spannungsabfälle in Stromkreisen. Sie heißt: „In geschlossenen Stromkreisen ist die Summe aller Spannungen = 0" oder

$$U_1 + U_2 + U_3 \ldots = 0. \quad \text{(F17)}$$

Auch diese Regel läßt sich durch wenige Messungen überprüfen. Wir verwenden den Schaltungsaufbau nach Bild 73 b, benützen das Meßgerät mit Meßplatine als 10-V-Spannungsmesser und führen an allen Widerständen der Reihe nach Messungen durch (Bild 74).

Bild 74



Es werden sich etwa folgende Werte ergeben:

Widerstand	Spannungsabfall
$R_1 = 8{,}2\ k\Omega + 470\ \Omega + 470\ \Omega$	6,0 V
$R_2 = 3{,}3\ k\Omega$	6,5 V
$R_3 = 680\ \Omega + 150\ \Omega$	0,5 V
$R_4 = 1{,}5\ k\Omega \parallel 2{,}7\ k\Omega$	2,5 V

Um die Meßergebnisse auswerten zu können, brauchen wir zunächst noch den kleinen „Knigge" für den Umgang mit der zweiten Kirchhoffschen Regel:

1. Ein geschlossener Kreis, unabhängig davon, ob er eine Spannungsquelle enthält oder nur ein Widerstandsnetzwerk ist, wird als „Masche" bezeichnet.
2. Spannungen (Spannungsabfälle an Widerständen, Batteriespannungen) werden in einer Masche mit Zählpfeilen gekennzeichnet.
3. Die Zählpfeile werden in Richtung der technischen Stromrichtung gezeichnet.
4. Trifft man beim Durchfahren einer Masche auf die Spitze eines Pfeiles, wird die betreffende Spannung mit einem negativen Vorzeichen gerechnet, trifft man auf das Ende eines Pfeiles, so geht die Spannung mit positivem Vorzeichen in die Rechnung ein.



Bild 74 a. Das Wort Masche ist in der Elektrotechnik sehr gebräuchlich; Elektroniker sprechen auch manchmal von einer „gestrickten Schaltung".

Diese Verhaltensmaßregeln auf Masche KLMNP in Bild 75 angewandt, ergibt:

Start bei K in Richtung L.

Zählpfeil zeigt in Marschrichtung, also 6,5 V positiv rechnen.

Von L nach M kein Spannungsabfall.

Von M über N nach P zwei Pfeile, der Marschrichtung entgegengesetzt, Spannungsabfälle 0,5 V und 6,0 V negativ rechnen.

Von P nach K kein Spannungsabfall.

Summe aller Spannungen in der Masche: $+6{,}5 + (-0{,}5) + (-6{,}0) = 0$

Natürlich funktioniert die Rechnung bei jeder anderen möglichen Masche, z. B.

Pluspol-Batterie – K – L – Minuspol-Batterie:

Pluspol-Batterie nach K:	+ 2,5 V
K nach L:	+ 6,5 V
L nach Minuspol:	—
Minuspol nach Pluspol:	– 9,0 V
Zusammen	0 V

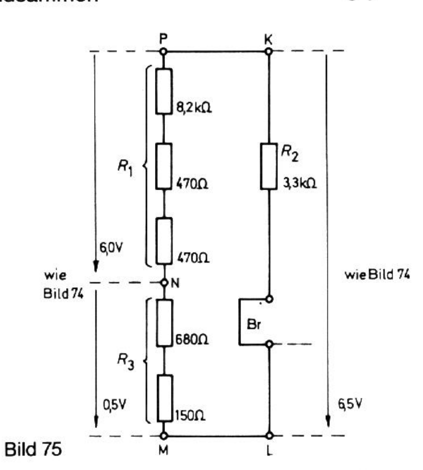


Bild 75

12. Innen- und Außenwiderstand

12.1 Eine Batterie geht in die Knie

Das Wort „Innenwiderstand" ist uns bei Betrachtungen über das Meßinstrument mehrfach begeg-

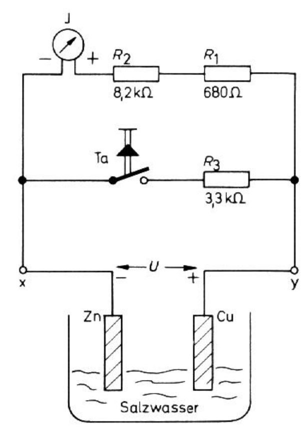


Bild 76. Eine selbstgebaute Salzwasserbatterie, die sehr aufschlußreich ist.

net. Jedes System, das eine Spannung abgibt, hat einen Innenwiderstand: z. B. Transformatoren, Tonabnehmer beim Plattenspieler, Verstärker und natürlich auch Batterien. Der Innenwiderstand ist von entscheidender Bedeutung für das Funktionieren bzw. die Leistungsfähigkeit einer Spannungsquelle. Wie unangenehm ein hoher Innenwiderstand sein kann, zeigt der Versuch mit einer Salzwasser-Batterie „Marke Eigenbau". Wie diese Batterie aufgebaut ist, zeigt Abbildung 76 (Aufbaubild 77).

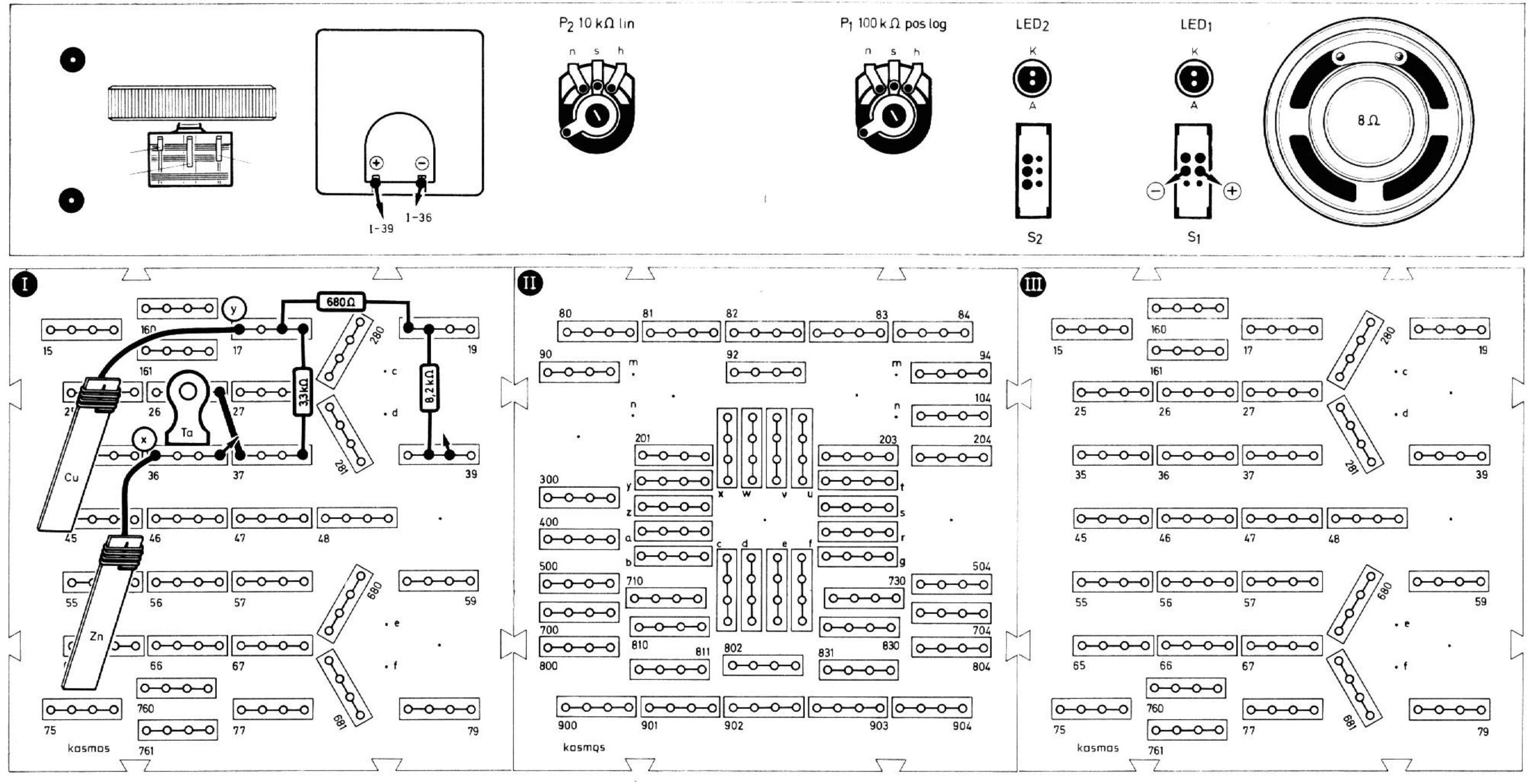


Bild 77. Aufbaubild Messung des Innenwiderstandes der Salzwasserbatterie

Kupfer- und Zinkblechstreifen werden mit Anschlußdrähten versehen (siehe Teil III, Kap. 68) und in ein Glas gehängt, das nur so weit mit Wasser gefüllt ist, daß lediglich die untere Hälfte der Blechstreifen eintaucht.

Die Anschlußstellen sollen trocken sein, weil sonst das Versuchsergebnis verschlechtert wird. Mit dem Salzstreuer wird etwas Salz in das Wasser gegeben.

Welche Spannung liefert die Salzwasser-Batterie?

Wir prüfen mit dem Meßinstrument, das hier mit einem veränderten Vorwiderstand betrieben wird (Reihenschaltung aus 8,2 kΩ und 680 Ω, Gesamtvorwiderstand also 8,88 kΩ). 10 Teilstriche auf der Skala entsprechen somit 1,0 V gemessener Spannung.

Bei offenem Taster lesen wir eine Spannung von

0,63 V ab. Sobald der Taster gedrückt wird, sinkt die Spannung erst rasch auf ca. 0,43 V ab und dann langsam noch weiter. Wird der Taster losgelassen, so steigt die Spannung zunächst rasch, dann langsamer wieder an.

Mit der Batterie ist offensichtlich nicht viel anzufangen. Versucht man, ihr Strom zu entnehmen, geht sie sofort in die Knie.

Warum gibt die Salzwasser-Batterie bei unterschiedlicher Belastung so verschiedene Spannungen ab?

Um dieses etwas mysteriöse Absinken der Spannung bei erhöhter Belastung erklären zu können, stellt man sich vor, im Inneren der Batterie sei ein Widerstand vorhanden, der mit einer „idealen" Spannungsquelle in Reihe geschaltet ist. Eine Spannungsquelle könnte man dann als ideal bezeichnen, wenn sie auch bei hoher Stromentnahme ihre Spannung nicht verändern würde. Da dies nun in der Praxis nicht zutrifft, denkt man sich den in Reihe geschalteten „Innenwiderstand", der nun zwar nicht in Form einer Kupferdrahtspule wie beim Meßinstrument greifbar ist, dessen Auswirkungen wir jedoch messen konnten.

Aus dieser Vorstellung (ideale Spannungsquelle kombiniert mit einem Widerstand) entwickelt man in der Elektrotechnik ein sogenanntes Ersatzschaltbild, das die beobachteten Eigenschaften eines Systems möglichst genau nachbildet. Das Ersatzschaltbild einer Spannungsquelle in seiner einfachsten Form zeigt Abbildung 78.

Die Spannung der (gedachten) idealen Batterie nennen wir Leerlaufspannung E.

Die Spannung, die wir außen in den Klemmen der Batterie messen können, heißt Klemmenspannung U.

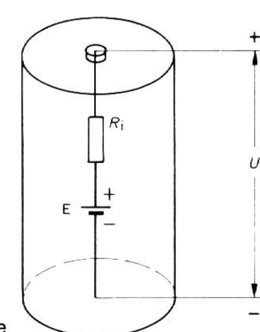


Bild 78. Elektrischer Aufbau einer Batterie

Die Klemmenspannung ist also die um den Spannungsabfall am Innenwiderstand verminderte Leerlaufspannung. Wird der Batterie kein Strom entnommen, so sind Leerlaufspannung und Klemmenspannung gleich groß. Wenn jedoch ein Strom fließt, so gilt:

$$U = E - R_i \cdot I \qquad \text{(F 18)}$$

Wenn man an einer unbekannten Spannungsquelle zwei Messungen durchführt, so kann man daraus Innenwiderstand und Leerlaufspannung berechnen. Dazu müssen zunächst die Ströme ausgerechnet werden, die bei den beiden Messungen der Batterie entnommen wurden.

Für die erste Messung gilt

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1} = \frac{0{,}63\ \text{V}}{8{,}2\ \text{k}\Omega + 0{,}68\ \text{k}\Omega + 1{,}2\ \text{k}\Omega} = \frac{0{,}63\ \text{V}}{10{,}08\ \text{k}\Omega} = 0{,}06\ \text{mA}$$

Bei der zweiten Messung ergibt sich nach Formel F 14 durch Parallelschalten des 3,3-kΩ-Widerstandes ein Gesamtwiderstand von

$$R_{ges} = \frac{10{,}08\ \text{k}\Omega \cdot 3{,}3\ \text{k}\Omega}{10{,}08\ \text{k}\Omega + 3{,}3\ \text{k}\Omega} = 2{,}49\ \text{k}\Omega$$

Der Strom, der in diesem Fall der Batterie entnommen wird, ist

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{0{,}43\ \text{V}}{2{,}49\ \text{k}\Omega} = 0{,}17\ \text{mA}$$

Die Formel für den unbekannten Innenwiderstand lautet:

$$R_i = \frac{U_1 - U_2}{I_2 - I_1} \qquad \text{(F 19)}$$

Wenn unsere Meßwerte eingesetzt werden, ergibt sich:

$$R_i = \frac{0{,}63\ \text{V} - 0{,}43\ \text{V}}{0{,}17\ \text{mA} - 0{,}06\ \text{mA}} = 1{,}82\ \text{k}\Omega$$

Unsere Salzwasser-Batterie hat den erschreckend hohen Innenwiderstand von 1,82 kΩ. Der R_i handelsüblicher, frischer Batterien liegt im Belastungsbereich von 20 mA bei ca. 1 Ω, der von etwas gebrauchten Zellen bei 2 Ω.

Mit dem für den Innenwiderstand gefundenen Wert kann man durch Umstellen von Formel F 18 die Leerlaufspannung berechnen:

$$E = U + R_i \cdot I \qquad \text{(F 20)}$$

Diese Formel muß für beide durchgeführte Messungen gelten.

Wir wollen zur Probe die Rechnung für beide Meßwerte durchführen:

1. $E = 0{,}63 + 1{,}82\ \text{k}\Omega \cdot 0{,}06\ \text{mA}$
   $= 0{,}63 + 0{,}11 = 0{,}74\ \text{V}$

2. $E = 0{,}43 + 1{,}82\ \text{k}\Omega \cdot 0{,}17\ \text{mA}$
   $= 0{,}43 + 0{,}31 = 0{,}74\ \text{V}$

Die Salzwasser-Batterie hat also eine Leerlaufspannung von 0,74 V. Die Leerlaufspannung frischer Babyzellen liegt dagegen bei etwa 1,6 V und sinkt nach einiger Zeit auf ca. 1,5 V ab.

Bei der Salzwasserbatterie haben sich durch den Betrieb die Eigenschaften der beiden Metallstreifen verändert. Gegenüber einer „frischen" Batterie ist auch in diesem Fall eine Verschlechterung eingetreten. Wenn wir jedoch die Streifen herausnehmen, sie blankreiben und nach einer Weile wieder einsetzen, kann man deutlich wieder die höhere Ausgangsspannung messen.

12.2 Meistens unerwünscht: Der Kurzschluß

Nach landläufiger Auffassung entsteht immer dann ein Kurzschluß, wenn zwei Pole einer Spannungsquelle direkt, d. h. mit einem Leiter geringen Widerstandes verbunden werden. Dabei fließt ein hoher Strom.

Ist nun jeder hohe Strom ein Kurzschluß?

Selbstverständlich nicht, man spricht vielmehr dann von einem Kurzschluß, wenn der von außen angeschaltete Widerstand R_a sehr viel kleiner ist als der Innenwiderstand R_i der Spannungsquelle.

Abbildung 79 zeigt einen Kurzschlußfall. Der äußere Widerstand ist ein Drahtbügel aus dickem Kupferdraht, der so gut leitet, daß man seinen Widerstand zu 0 annehmen kann.

Es gibt in diesem Stromkreis also nur einen Widerstand: den Innenwiderstand R_i. Allein durch ihn bestimmt sich die Höhe des Kurzschlußstromes I_K:

$$I_K = \frac{E}{R_i} \qquad \text{(F21)}$$

Bei der harmlosen Salzwasser-Batterie wäre der max. Kurzschlußstrom

$$I_K = \frac{0{,}74\ \text{V}}{1{,}82\ \text{k}\Omega} = 0{,}41\ \text{mA}$$

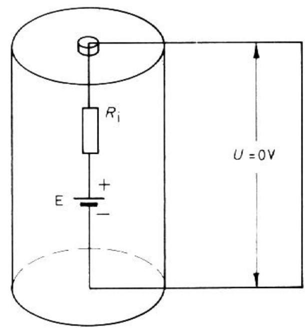


Bild 79. Batterie bei Kurzschluß

Wohlgemerkt, die Klemmenspannung ist für den Kurzschlußfall 0 V.

Ein Kurzschluß kann verheerende Folgen haben, wenn nicht dafür gesorgt wird, daß durch das Schmelzen einer Sicherung der Stromkreis rasch aufgetrennt wird. Ein Kurzschluß kann eine Überhitzung von Leitungen hervorrufen, was leider schon oft zu Wohnungsbränden geführt hat. Dies besonders dann, wenn durchgebrannte Sicherungen unzulässig geflickt oder falsche Sicherungswerte eingesetzt wurden.

12.3 Anpassungsprobleme

Eine nicht verbrauchte Babyzelle gibt etwa 1,5 V Spannung ab und hat einen Innenwiderstand von ca. 1,5 Ω, wie wir aus den letzten Kapiteln wissen.

Der max. Strom, den man dieser Batterie entnehmen könnte, wäre der Kurzschlußstrom:

$$I_K = \frac{E}{R_i} = \frac{1{,}5\ \text{V}}{1{,}5\ \Omega} = 1\ \text{A}$$

Ist es sinnvoll, die Batterie auf Dauer mit diesem Strom zu belasten? Zwei Gründe sprechen dagegen:

1. Die Batterie würde sich aufgrund der chemischen Vorgänge in ihrem Inneren bald erschöpfen.
2. Die zur Verfügung stehende Energie wäre nicht sinnvoll ausgenützt. Im Kurzschlußfall ist die Klemmenspannung = 0 V und der Strom soll ja an äußeren Verbrauchern (Lämpchen, Heizgeräten, Lautsprecher usw.) Arbeit leisten.

Was bedeuten in der Elektronik die Begriffe Arbeit und Leistung?

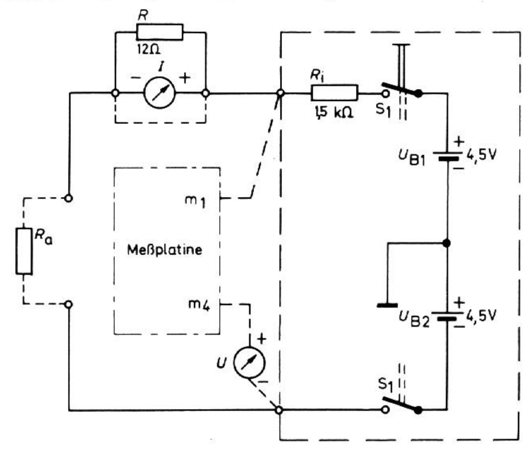
Arbeit ist definiert als das Produkt aus Strom, Spannung und Zeit:

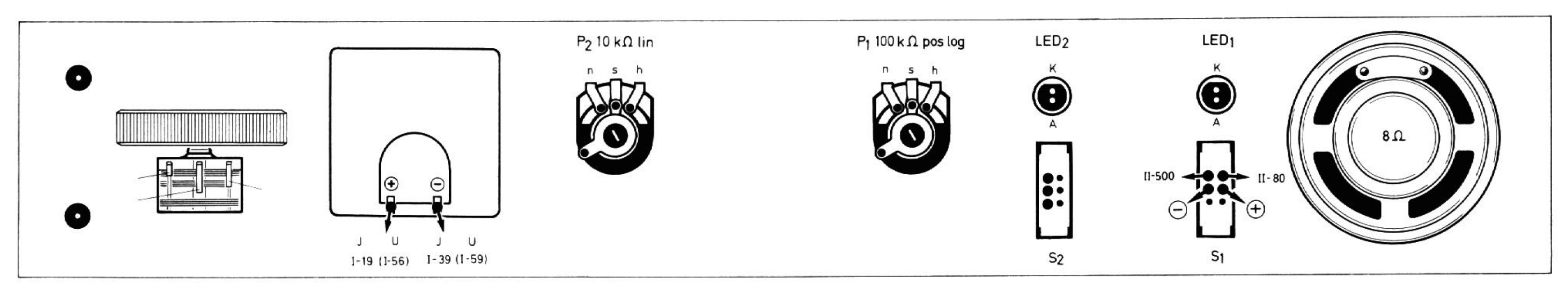
$$A = U \cdot I \cdot t \qquad \text{(F22)}$$

Die Maßeinheiten sind

V · A · s (Volt · Ampere · Sekunde)

Bild 80. Messung der Batterieleistung





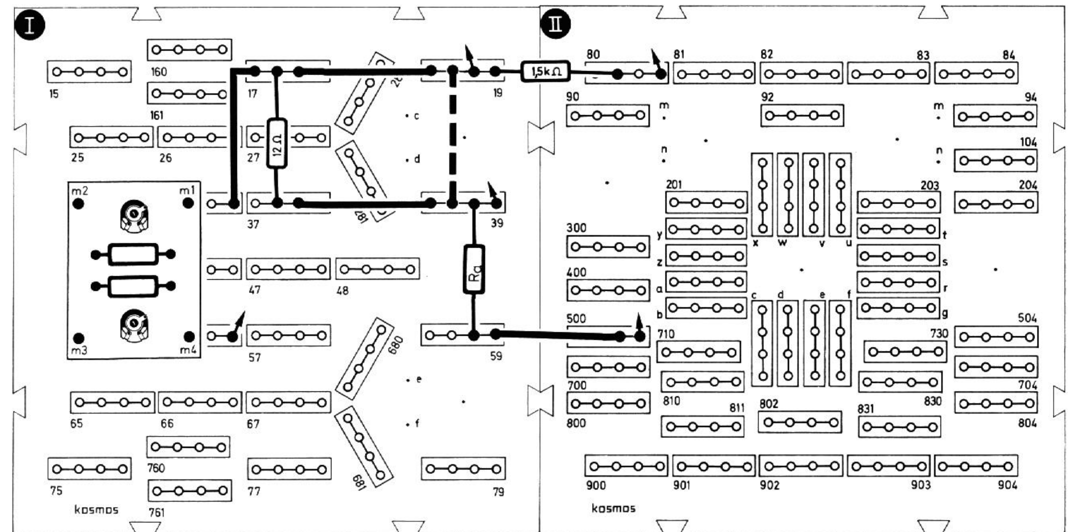


Bild 81. Aufbaubild Messung der Batterieleistung

Zusammenfassung

$U \;= E - R_i \cdot I$ (Spannung an den Klemmen einer Batterie)

$E \;=$ Leerlaufspannung

$R_i \;=$ Innenwiderstand

$I_K = \frac{E}{R}$ (Kurzschlußstrom)

$A \;= U \cdot I \cdot t$ (elektrische Arbeit)

$P \;= U \cdot I$ (elektrische Leistung)

Für das Produkt V · A wurde der Ausdruck Watt (W) eingeführt. V · A · s = Wattsekunde. Üblich sind auch Angaben in Watt-Stunden bzw. Kilowatt-Stunden.

Wird eine Arbeit pro Zeiteinheit erbracht, so erhält man die „Leistung"



$$P = \frac{A}{t} = U \cdot I \qquad \text{(F23)}$$

Die Leistung wird in Watt bzw. Kilowatt angegeben.

Der nächste Versuch gibt Aufschluß darüber, wie man eine Batterie am sinnvollsten nutzen kann. Da hierbei der Innenwiderstand eine wichtige Rolle spielt, die Babyzelle für unsere Meßmöglichkeiten jedoch einen zu geringen Innenwiderstand hat, erhöhen wir diesen durch Einfügen eines 1,5-kΩ-Widerstandes. Wir behandeln Batterie-Paket + 1,5-kΩ-Widerstand als Versuchsbatterie (in Abb. 80 gestrichelt angedeutet). Wir setzen nacheinander ver-

schiedene Verbraucher ein (in unserem Experiment Widerstände) und messen für jeden Fall den Strom durch den Widerstand (Meßinstrument mit 12Ω-Shunt-Widerstand hat 10 mA Vollausschlag, siehe Seite 56) und die Spannung am Widerstand (Bild 81). Das Produkt aus U und I gibt uns die jeweilige im Widerstand umgesetzte Leistung P.

Tabelle 6.: Widerstand und Leistung

R_a (Ω)	U (V)	I (mA)	P (mW)
680	2,8	4,13	11,6
2,7 k parallel 3,3 k (≈1,5 k)	4,5	3,0	13,5
3,3 k	6,2	1,9	11,8

Aus der Tabelle 6 geht hervor, daß eine Steigerung des Widerstandswertes von 680 Ω auf 1,5 kΩ eine Leistungssteigerung zur Folge hat; wird jedoch weiter erhöht (3,3 kΩ), sinkt die Leistung wieder ab. Bei 1,5 kΩ ist offensichtlich ein Maximum der Leistung erreicht. Hier ist R_a etwa gleich groß dem Innenwiderstand R_i. (Unsere Meßmethode ist allerdings nicht fehlerfrei; es wird außer acht gelassen, daß auch ein Strom in das Meßinstrument fließt.)

Dies ist das Prinzip der Leistungsanpassung:

Bei einer Spannungsquelle mit gegebenem R_i kann im Außenwiderstand ein Maximum an Leistung umgesetzt werden, wenn Innen- und Außenwiderstand gleich groß sind. Beim Anschluß von Lautsprechern, Plattenspielern und Kassettenrecordern usw. an Verstärker muß dieses Prinzip besonders beachtet werden, um ein optimales Ergebnis zu erzielen.

13. Kleine Widerstandspraxis

13.1 Belastbarkeit von Widerständen

Schließt man einen 12-Ω-Widerstand an 4,5-V-Batterie-Spannung an, so fließt, wie man nach dem Ohmschen Gesetz leicht berechnen kann, ein Strom von 375 mA. Was uns das Ohmsche Gesetz verschweigt: Der Widerstand erhitzt sich beträchtlich (Experiment daher rasch abbrechen, da sonst Gefahr der Zerstörung).

Es wird elektrische Energie in Wärme umgewandelt. Aufgrund ihrer Bauform vertragen die Widerstände der Experimentierausrüstung nur eine begrenzte Temperatur und eignen sich nicht für Heizzwecke.

Der 12-Ω-Widerstand darf nach Herstellerangaben höchstens mit 0,5 W belastet werden, wenn seine zulässige Temperatur nicht überschritten werden soll (im Experiment haben wir dem Widerstand kurzfristig fast 1,7 W zugemutet!).

Da die Leistung das Produkt aus Strom und Spannung ist, gibt es für jeden Widerstand eine höchstzulässige Spannung und damit auch einen höchstzulässigen Strom. Ein einfaches Hilfsmittel, um ohne langes Rechnen unter der Grenzbelastung zu bleiben, ist ein Widerstandsdiagramm mit eingezeichneter Grenzleistungshyperbel. Ein solches Diagramm wird im nächsten Kapitel erläutert.

13.2 Betriebsordnung für Widerstände: Die Kennlinie

In Abbildung 82 sind Widerstandskennlinie und Grenzleistungshyperbel für den 12-Ω/0,5-W-Widerstand dargestellt. Der Punkt A zeigt ein Strom/Spannungswertepaar im zulässigen Bereich unterhalb der Grenzleistungshyperbel (1,5 V und 125 mA ergeben 0,19 W).

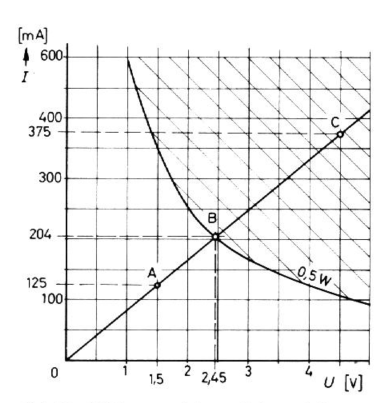


Bild 82. Widerstandskennlinie und Grenzleistungshyperbel

Im Schnittpunkt B sind die Grenzwerte abzulesen.

$$U_{max} = 2{,}45\ \text{V}$$
$$I_{max} = 204\ \text{mA}$$
$$P_{max} = 0{,}5\ \text{W}$$

Das Diagramm zeigt sehr deutlich, daß unsere experimentellen Bedingungen für 4,5 V und 375 mA weit im verbotenen Bereich, im Überlastungsbereich, liegen (Punkt C).

Anmerkung:

1. Um die Grenzleistungshyperbel zu zeichnen, genügt es, wenige Punkte (z. B. 5 Punkte) zu berechnen: Man nimmt verschiedene Werte für U

an und ermittelt I nach Formel F 23:

$$I = \frac{P}{U}$$ P ist vom Hersteller angegeben.

2. Die Punkte der Widerstandsgeraden können nach dem Ohmschen Gesetz berechnet werden.

14. Vom Spannungsteiler zur Brückenschaltung

14.1 „O'zapft is!“

Das ruft der Münchner Oberbürgermeister jedes Jahr, wenn er das Oktoberfest durch einen kräftigen Schlag auf den Zapfhahn eröffnet hat. Was der Zapfhahn für das Bierfaß, ist der Schleifer für unser Poti: eine Anzapfung.

Durch diese Anzapfung wird der Drehwiderstand in zwei Teilwiderstände R_a und R_b (siehe Abb. 83) unterteilt. Wir haben also mit dem Poti die Möglichkeit, jeden gewünschten Widerstand zwischen 0 und 10 kΩ einzustellen. Das kann sehr nützlich sein, wenn man für eine Schaltung einen bestimmten Widerstandswert benötigt und der passende Widerstand gerade nicht zur Hand ist.

Wie weiß man nun aber, in welche Widerstandsabschnitte die 10-kΩ-Potibahn unterteilt wird?

Dies kann man herausbekommen, indem man eine Spannungsmessung durchführt. Wenn wir nach Bild 83 den Schleifer nach n bewegen, wird R_a kleiner, und die gemessene Spannung sinkt; dreht man ihn nach h, wird R_a größer und auch die Spannung. Das Verhältnis der Spannungen ist gleich dem Verhältnis der zugehörigen Teilwiderstände:

$$U_1 : U_2 = R_a : R_b$$ 

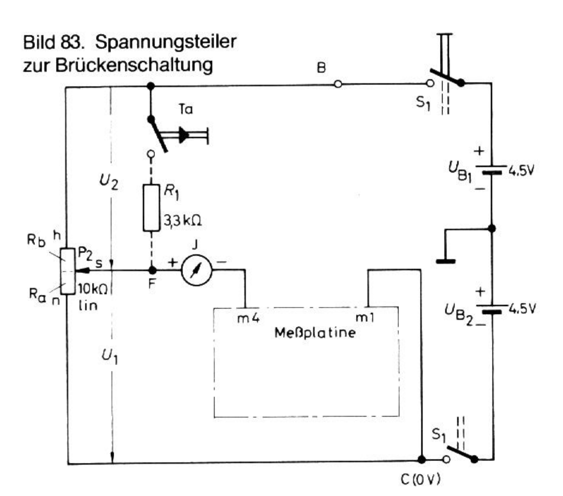


Bild 83. Spannungsteiler zur Brückenschaltung

Unser Ziel ist es, am Meßgerät ablesen zu können, wann der gewünschte Widerstandswert am Poti eingestellt ist. Da $R_a + R_b = 10$ kΩ ist, und $U_1 + U_2$ gleich der Batteriespannung U_B ist, kann man durch Einsetzen in Formel F 24 folgende Beziehung aufstellen (folgt nach etwas Rechnerei):

$$U_1 = \frac{R_a}{10\,\text{k}\Omega} \cdot U_B$$

Nun wird es einfach, denn U_B ist 9 V, und damit haben wir die Beziehung

$$U_1\ (\text{in Volt}) \triangleq 0{,}9\,R_a\ (\text{in k}\Omega)$$ 

Beispiel: Es soll am Poti ein Widerstand von 2 kΩ eingestellt werden. Man dreht nun am Poti so lange, bis das Meßinstrument die Spannung $U_1 = 0{,}9 \cdot R_a = 0{,}9 \cdot 2\ \text{k}\Omega = 1{,}8$ V anzeigt.

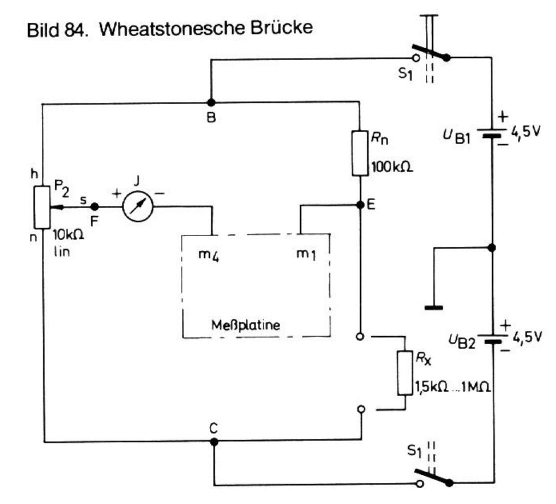
So einfach ist das.

Ein bitterer Wermutstropfen: Die einfache Formel ist nur gültig für einen nichtbelasteten Spannungsteiler. Dies zeigt sich sehr schnell, wenn man einen Belastungsfall simuliert: Wir setzen den in Bild 83 gestrichelt eingezeichneten Widerstand $R_1 = 3{,}3$ kΩ ein. Bei offenem Taster wird U_1 auf 4,5 V eingestellt (R_a und R_b sind dann gleichgroß; ihr Widerstandswert ist jeweils 5 kΩ). Nun wird der Taster gedrückt, und U_1 steigt erheblich an. Die Beziehung $U_1 \triangleq 0{,}9\,R_a$ ist ungültig geworden.

14.2 Eine Brücke, die nichts trägt . . .

. . . verhilft uns zu einer besseren Methode der Widerstandsmessung. Man baut sie nach Abb. 85 auf (Schaltbild 84). Es ist eine sogenannte Wheatstonesche Brückenschaltung. Sie besteht aus zwei parallel geschalteten Spannungsteilern. Der eine Spannungsteiler ist das Poti, der andere besteht aus einem bekannten Widerstand R_n und einem unbe-

Bild 84. Wheatstonesche Brücke



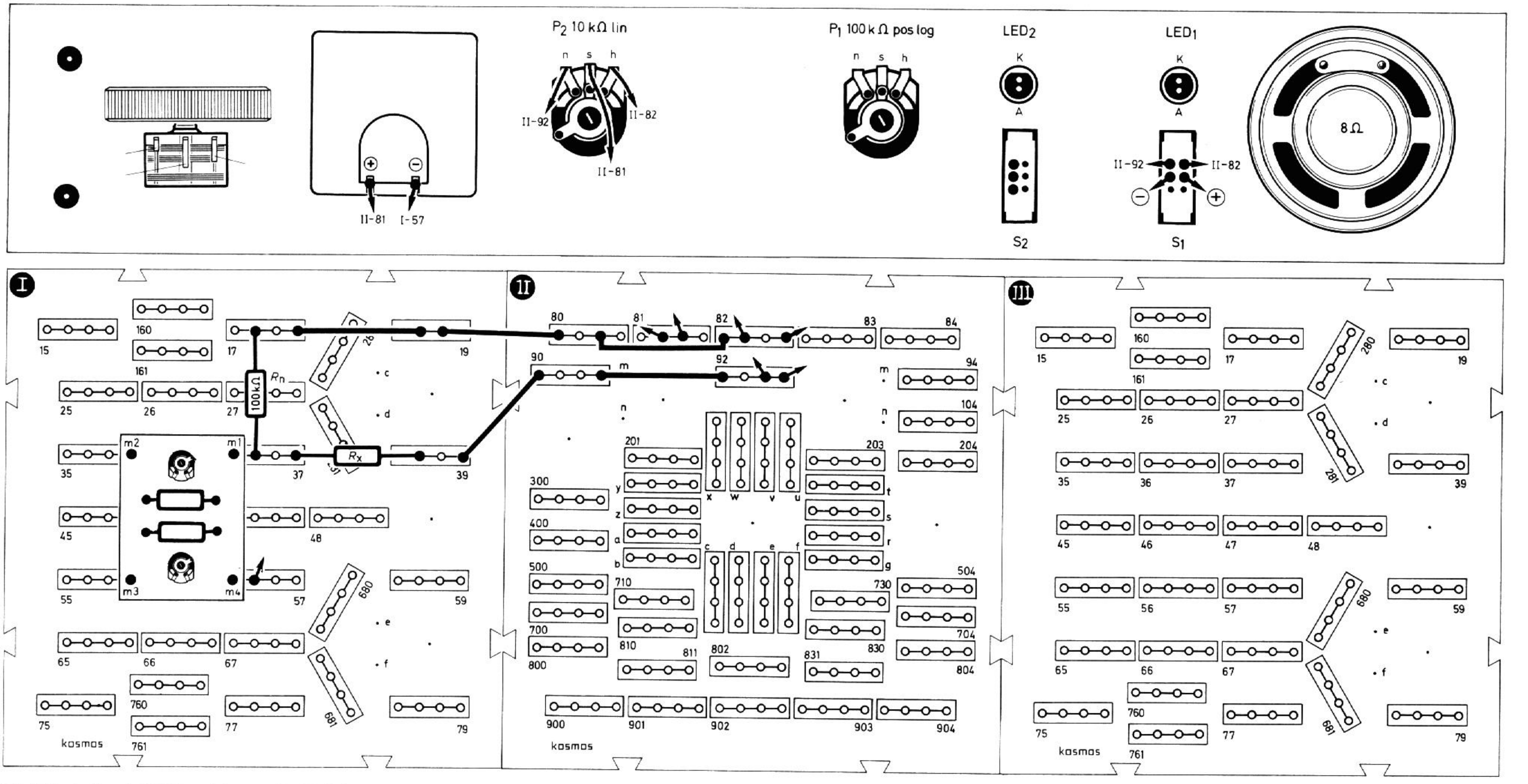


Bild 85. Aufbaubild Wheatstonesche Brücke

kannten Widerstand R_x. Die Schaltung dient dazu, den Wert dieses unbekannten Widerstandes R_x zu ermitteln. Zum Ausprobieren wählen wir irgendeinen Widerstand zwischen 1,5 kΩ und 1 MΩ aus und setzen ihn als R_x ein. Nun wird das Poti so lange gedreht, bis das Meßinstrument 0 anzeigt. Die Brücke ist nun „abgeglichen". Durch das Meßinstrument fließt kein Strom. Am Punkt F liegt jetzt dieselbe Spannung wie an Punkt E (bezogen auf Batteriespannung) an. An R_a fällt also genauso viel Spannung ab wie an R_x (unterer Teil der Brücke) und an R_b genauso viel wie an R_n (oberer Teil der Brücke). Nach unseren Überlegungen über Spannungsteiler aus dem vorangegangenen Kapitel gilt für die abgeglichene Brücke:

$$R_a : R_b = R_x : R_n \quad \text{(F26)}$$

Der Schleifer des Poti teilt also die Kohleschicht-

bahn im selben Verhältnis, das die Widerstände R_n und R_x zueinander haben. Die Werte für R_a und R_b sind von vornherein nicht bekannt, gegeben ist lediglich die Summe $R_a + R_b = 10\ k\Omega$ (Gesamtwiderstand des Poti). Zur Ermittlung von R_a und R_b könnten ähnlich wie im vorhergegangenen Kapitel die Spannungen gemessen werden (zwischen F und B beziehungsweise F und C).

Dies ist ein sehr umständlicher Weg. Eine wesentlich elegantere Methode wird im folgenden beschrieben:

Man kann für ein Potentiometer, dessen Gesamtwiderstand sich ja nicht ändert, eine Skala herstellen, die für jede Schleiferstellung das Verhältnis der eingestellten Teilwiderstände anzeigt. Eine solche Skala ist von KOSMOS entwickelt worden (Bild 86), sie befindet sich auch auf dem Aufklebebogen. Genau in der Mitte der Skala steht die Zahl 1. Das ist logisch, denn bei Schleifermittelstellung ist das Verhältnis $R_a : R_b$ gleich 1.

Für mathematisch Interessierte:

$$\frac{R_a}{R_b} = \frac{10\ k\Omega - R_b}{R_b}$$

$$\frac{R_a}{R_b} = \frac{10\ k\Omega}{R_b} - 1$$

Dies entspricht einer Hyperbelfunktion des allgemeinen Typs

$$y = f(x) = \frac{\text{Konstante}}{x} - 1$$

Die Bestimmung des unbekannten Widerstandes R_x ist nun denkbar einfach. Man löst Formel F 26 nach R_x auf:

$$R_x = \frac{R_a}{R_b} \cdot R_n$$

und ersetzt $\frac{R_a}{R_b}$ durch „Sk". („Sk" steht für Skalenteile)

$$R_x = Sk \cdot R_n \qquad \text{(F27)}$$

Die Skala des Aufklebebogens wird auf ein Stück Karton geklebt und auf der Frontplatte unter dem Drehknopf des Potentiometers P_2 angebracht. Die Skalenenden müssen bei linkem und rechtem Potianschlag mit der Markierung des Drehknopfes übereinstimmen (ev. mit Tesafilm fixieren).

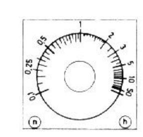


Bild 86. Skala für Meßbrücke

Bestimmung des unbekannten Widerstandes:

Poti so lange verdrehen, bis Instrument Null anzeigt; Skalenwert ablesen; mit dem Wert R_n multiplizieren.

Beispiel: Instrument steht auf 0, $R_n = 100\ k\Omega$, abgelesener Skalenwert 3,3; $R_x = 3{,}3 \cdot 100\ k\Omega = 330\ k\Omega$.

14.3 Ohm in Prozent

Die Brückenschaltung eröffnet uns aber noch ganz andere Möglichkeiten: nämlich den prozentualen Vergleich von Widerständen. Setzen wir als R_x den 82-kΩ-Widerstand ein, so liegt bei $R_n = 100\ k\Omega$ die Nullstellung natürlich links der Mitte. Auf der Skala ergibt sich als Potistellung der Skalenwert 0,82. Eine zweite Skala ist in Prozent eingeteilt (Bild 87). Wird sie anstelle der Verhältnisskala auf der Frontplatte angebracht, zeigt sie die prozentuale Abweichung des R_x vom R_n mit –18% an.

Wenn wir den 100-kΩ-Widerstand und den 82-kΩ-Widerstand gegeneinander austauschen, ergibt sich eine Anzeige + 22%. Wir sind bei der Prozentanzeige nicht mehr an einen bestimmten R_n gebunden, sondern können beispielsweise vergleichen, wieviel unsere beiden 470-Ω-Widerstände voneinander abweichen. Dazu müssen wir den einen 470-Ω-Widerstand als R_x, den anderen als R_n einsetzen. Durch Austausch ergibt sich dann die Abweichung in entgegengesetzter Richtung.

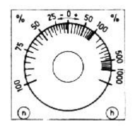


Bild 87. Skala zur Bestimmung der Abweichung in Prozent

15. By-pass nicht nur in der Herzchirurgie

Herzchirurgen legen einen By-pass um eine Ader, die den vollen Blutstrom nicht mehr verkraften kann. Wir wollen den Strom, der für unser Meßgerät zuviel wäre, an ihm vorbeileiten. Dazu legen wir parallel zu ihm einen Widerstand. Nicht nur Chirurgen, auch Elektroniker bedienen sich oft englischer

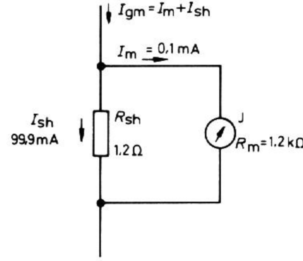


Bild 88. Meßbereichserweiterung durch Stromverzweigung

Fachausdrücke. Ein derartiger Nebenwiderstand wird in der Fachsprache „shunt" genannt (sprich schant). Wir „shunten" das Meßgerät also mit einem Nebenwiderstand, wie Bild 88 es zeigt.

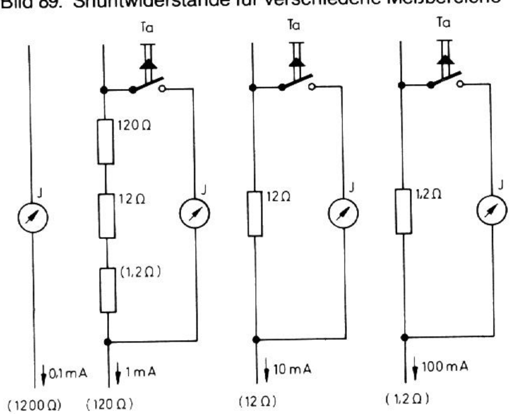
Wie groß muß dieser shunt sein?

Das Meßinstrument verträgt nicht mehr als 100 µA. Soll ein großer Strom gemessen werden, so muß der Rest an ihm vorbeifließen. Bild 88 zeigt die bekannte Stromverzweigung.

Die Ströme verhalten sich umgekehrt wie die Widerstände (Formel F 14). Das Verhältnis von Shunt-Strom zu Meßstrom beträgt ziemlich genau 1000 : 1; das Verhältnis der Widerstände muß also 1 : 1000 betragen.

Das Meßinstrument hat einen Widerstand von 1200 Ω, der Shuntwiderstand muß also 1,2 Ω Widerstandswert haben. Sinngemäß verfährt man bei der Ermittlung des Shuntwiderstands für andere Meßbereiche (siehe Abb. 89).

Bild 89. Shuntwiderstände für verschiedene Meßbereiche



16. Vom Halbleiterkristall zum Transistor

16.1 Leitfähigkeit besonderer Art

Manche Stoffe zeigen ein ganz merkwürdiges Verhalten: Sie sind bei Zimmertemperatur Isolatoren, leiten aber bei Erwärmung den elektrischen Strom. Im Gegensatz zu den Metallen wird also ihre Leitfähigkeit mit steigender Temperatur größer. Stoffe mit dieser Eigenschaft nennt man *Halbleiter*, zu ihnen gehören z. B. die Elemente Silizium und Germanium.

Wie kommt es zu diesem merkwürdigen Verhalten?

Betrachten wir stellvertretend das Element Silizium. Ein Silizium-Kristall besteht aus regelmäßig angeordneten Siliziumatomen (Kristallgitter!). Jedes Siliziumatom besitzt vier Elektronen auf der Außenschale der Elektronenhülle. Im Gitter ist jedes Atom mit vier Nachbaratomen verbunden, wobei die vier Außenelektronen für die Bindung sorgen, indem sie wechselseitig einmal das eine, dann das Nachbaratom umkreisen.

Durch dieses Wechselspiel kommt eine *starke* Bindung zustande. Um diesen Vorgang zu veranschaulichen, beobachten wir zwei Kinder, die sich zwei Bälle wechselseitig zuwerfen. Zusammen besitzen die Kinder ein gemeinsames Ballpaar, das im Spiel die Verbindung zwischen ihnen herstellt.

Jedes Siliziumatom geht vier solcher Elektronpaarbindungen ein (Bild 90). Der Unterschied zu den Metallen besteht darin, daß beim Halbleiter die Elektronen der Außenschale durch die starken Bindungen nicht ohne weiteres wandern können. Bei Zimmertemperatur fließt kaum ein Strom durch das Siliziumkristall.

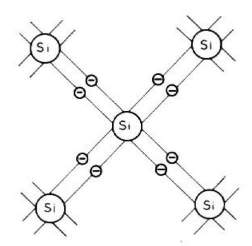


Bild 90. Jedes Si-Atom geht vier Elektronenpaarbindungen mit Nachbaratomen ein.

Bei Zufuhr von Energie, z. B. Wärme, werden einige Elektronen aus ihren Bindungen herausgerissen. Sie stehen als „freie" Elektronen zur Verfügung und hinterlassen einen freien Platz, man spricht von einem „Loch", der von einem anderen Elektron eingenommen werden kann.

16.2 Ein Loch geht auf die Reise

Wird an einen erwärmten Kristall von außen eine elektrische Spannung angelegt, so fließt ein Strom. Der Leitungsvorgang läßt sich an folgendem Bild veranschaulichen (Bild 91).

Eine Reihe von fünf Männchen befördert Bälle von links nach rechts. Die Stelle, an der sich kein Ball befindet, wandert jedoch in entgegengesetzter Richtung.

Ein ähnlicher Vorgang spielt sich bei der Stromleitung im Halbleiterkristall ab: Mit der tatsächlichen Elektronenwanderung vom Minus- zum Pluspol ist eine scheinbare „Loch"-Wanderung vom Plus- zum Minuspol verbunden. Dies alles funktioniert, wie gesagt, jedoch nur bei erhöhter Temperatur.

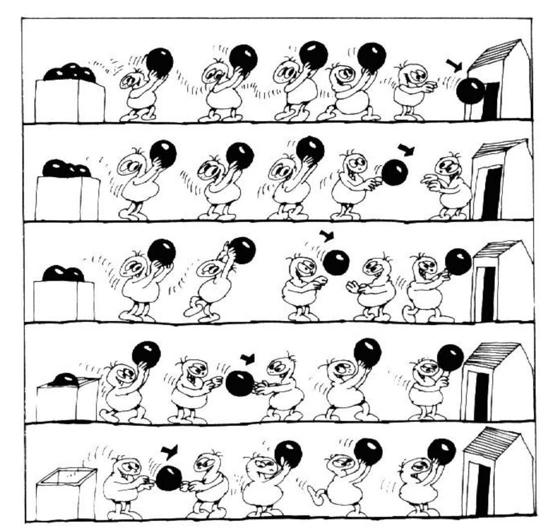


Bild 91. Die Bälle werden von links nach rechts befördert; die Lücke wandert von rechts nach links.

16.3 Störungen erwünscht

Um einen Halbleiter auch bei Zimmertemperatur verwenden zu können, muß man ohne Energiezufuhr entweder die Zahl der beweglichen Elektronen oder aber die Zahl der „Löcher" erhöhen. Man erreicht dies durch den Einbau von Atomen anderer Elemente in das Kristallgitter des Siliziums oder Germaniums. Der Einbau von Fremdatomen mit fünf Elektronen auf der äußeren Schale erhöht die Anzahl der zur Verfügung stehenden Elektronen, der Einbau von Fremdatomen mit nur drei Elektronen auf der äußeren Schale schafft zusätzlich Plätze für Elektronen, also Löcher (Bild 92 a und b).

Den Vorgang des Einbaus von Fremdatomen (man sagt auch Störstellen) nennt man dotieren.

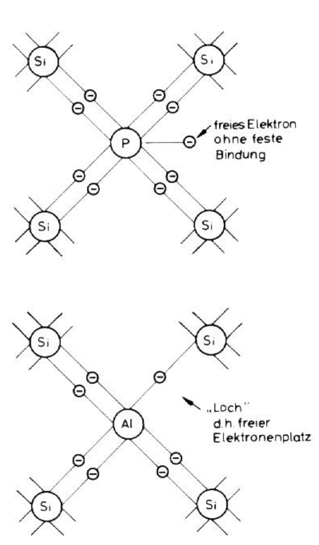


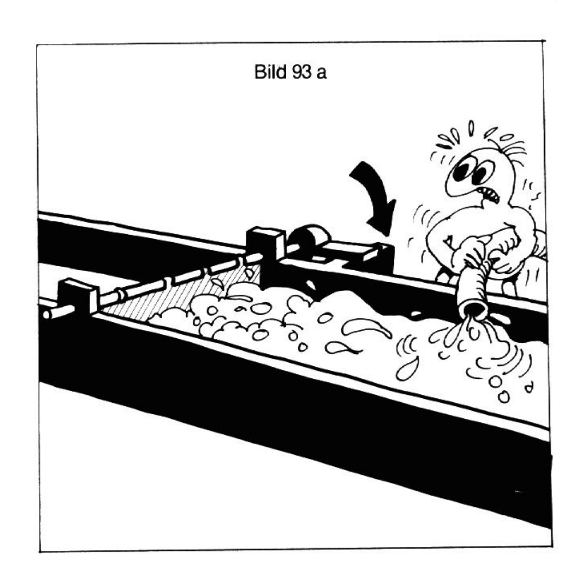
Bild 92. Einbau von unterschiedlichen Störatomen in ein Silizium-Kristallgitter (oben: Phosphor, unten: Aluminium).

Hat man die Anzahl der verfügbaren Elektronen erhöht, so spricht man von n-Material, sind durch Dotieren freie Elektronenplätze („Löcher") entstanden, so spricht man von p-Material.

Anmerkung:
Verfügbarkeit von Elektronen bzw. von Löchern bedeutet nicht, daß der Kristall nach außen elektrisch geladen ist. Diese Feststellung ist für die folgenden Betrachtungen besonders wichtig.

16.4 pn-Übergang: Einbahnstraße für Elektronen

Ein Gebilde aus einem n-leitenden und p-leitenden



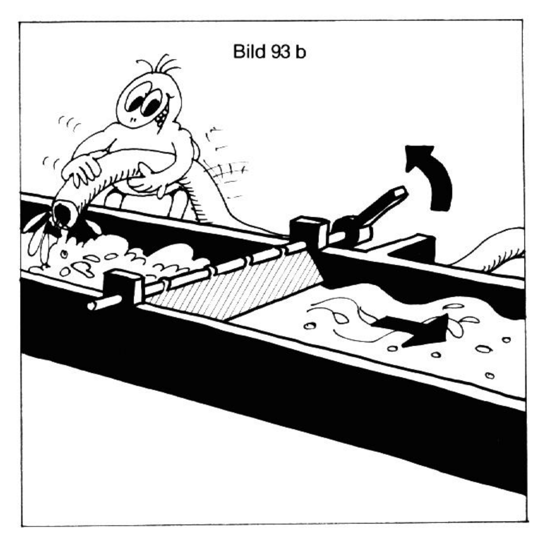
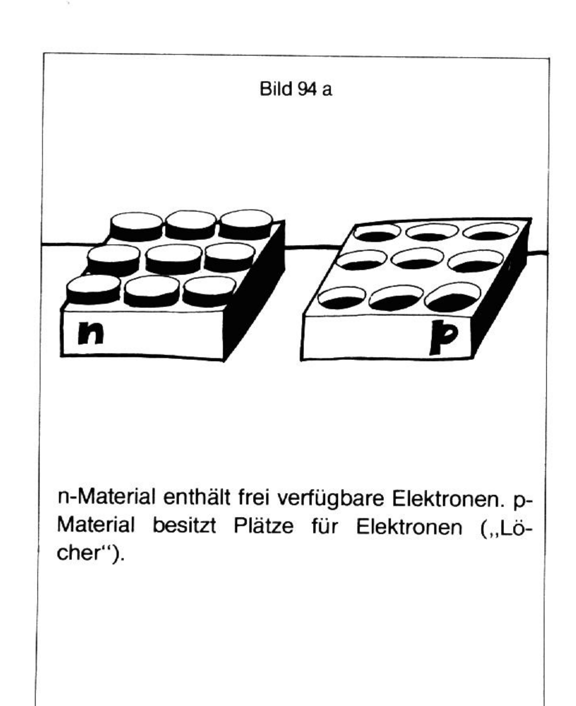


Bild 93. a (oben): Diode in Sperrichtung: Ein Strom kann nicht fließen, da das Wasser gegen die Schleusenklappe drückt; b (unten): Durchlaßrichtung: Der Wasserstrom hebt von selbst die Schleusenklappe an.

Material heißt Diode, sie läßt den Elektronenfluß nur in einer Richtung passieren.

Das Prinzip von Durchlaß- und Sperr-Richtung zeigt Bild 93. Was im Innern einer Diode tatsächlich vor sich geht, soll im folgenden Abschnitt ohne mathematischen Ballast anschaulich gemacht werden (Bild 94 a–e).

Bild 94 a



n-Material enthält frei verfügbare Elektronen. p-Material besitzt Plätze für Elektronen („Löcher").

Bild 94 b

n- und p-Material werden zusammengefügt. Elektronen an der Grenzschicht des n-Materials wandern in das benachbarte p-Material. Dieser Vorgang heißt Diffusion.

Bild 94 c

Die Diffusion hat zwei wichtige Dinge zur Folge:

1. Die aus dem n-Material abgewanderten Elektronen besetzen „Löcher" des p-Materials; dadurch verarmen die Grenzzonen an beweglichen Ladungsträgern.
2. Das n-Material hat Elektronen abgegeben. Es wird dadurch positiv geladen. Das p-Material hat Elektronen aufgenommen; es wird dadurch negativ geladen.

Bild 94 d

Von außen wird eine Spannung angelegt, die der inneren Spannung gleichgerichtet ist. (Pluspol an das n- und Minuspol an das p-Material.)

Die Verarmungszone vergrößert sich, es fließt kein Strom. Die Diode sperrt.

Bild 94 e

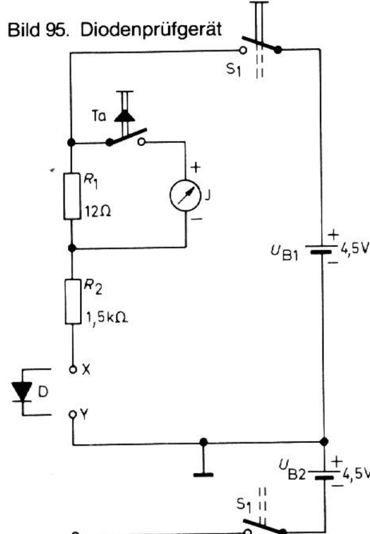
Die äußere Spannung wird umgepolt, so daß sie der inneren Spannung entgegengerichtet ist. In der Verarmungszone wandern von außen Ladungsträger ein, es kommt ein Stromfluß in Gang. Die Diode leitet.

16.5 Dioden auf dem Prüfstand

Ein Diodenprüfgerät wird nach Abb. 96 aufgebaut (Schaltbild 95).

Die Prüflinge werden an der Stelle x–y eingesetzt. Am Prüfvorgang nehmen teil: Die Germaniumdiode, die Siliziumdiode, die Leuchtdioden. Das Meßinstrument mit einem Shuntwiderstand von 12 Ω hat einen Vollausschlag von 10 mA. Der 1,5-kΩ-Widerstand dient als Vorwiderstand zum Schutz der Dioden.

Bild 95. Diodenprüfgerät



Achtung: Schaltung nur mit 4,5 Volt betreiben, da Germaniumdiode und Leuchtdioden keine hohe Sperrspannung vertragen.

Zweierlei Ergebnisse bringt die Messung. 1. Wie erwartet, fließt kein Strom, wenn die Dioden in Sperr-

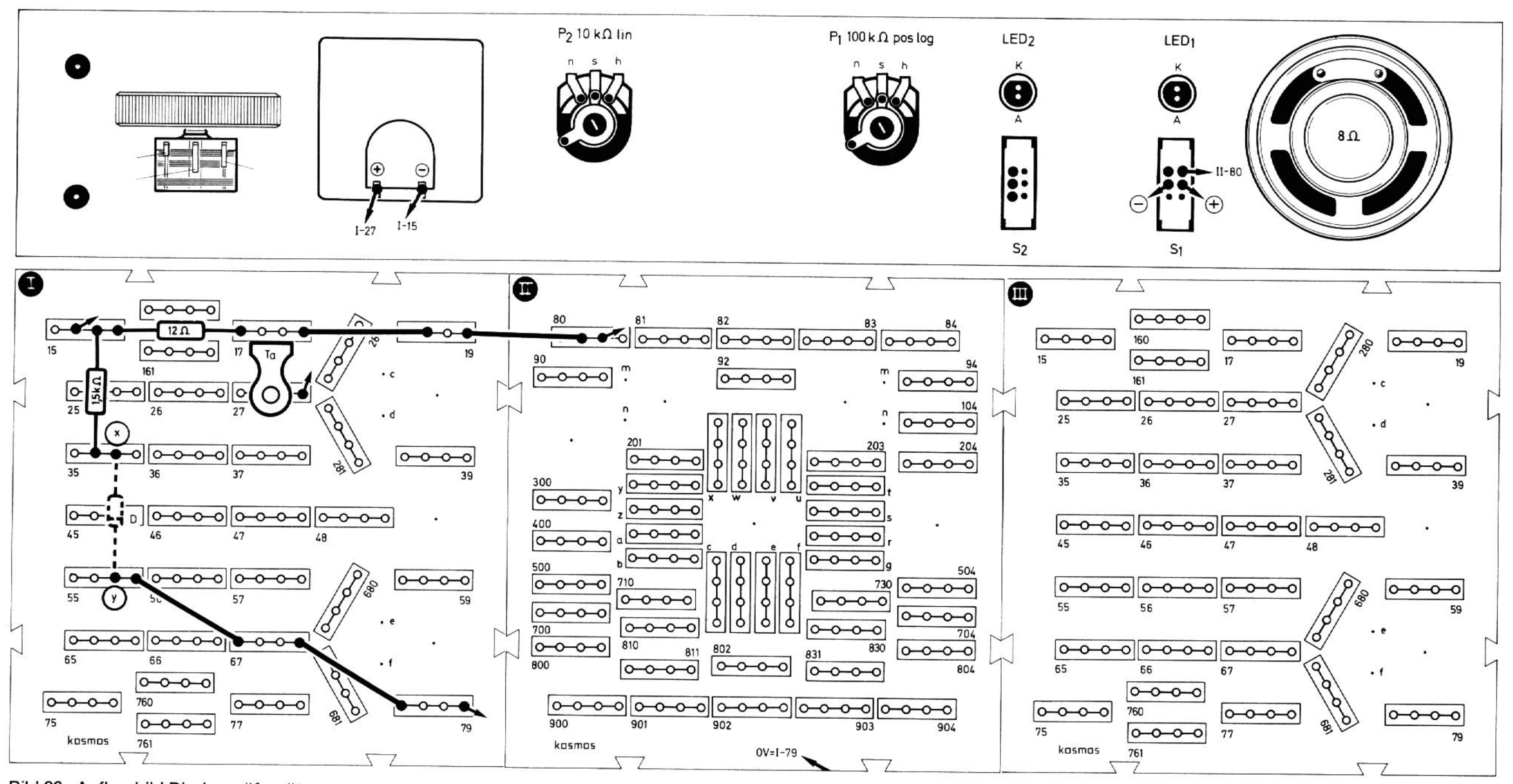


Bild 96. Aufbaubild Diodenprüfgerät

Richtung geschaltet sind. 2. Bei unterschiedlichen Diodentypen zeigt das Meßinstrument verschieden hohe Ströme an.

Das zweite Ergebnis ist auf eine Diodeneigenschaft zurückzuführen, die wir aus der Kennlinie entnehmen können. Kennlinien von Silizium-Germanium- und Leuchtdioden sind in Bild 97 dargestellt.

Man erkennt, daß ein Stromfluß erst ab einer bestimmten Spannung zustande kommt. Diese Spannung, die für verschiedene Diodentypen sehr unterschiedliche Werte haben kann, nennt man Schwellen- oder Schleusenspannung.

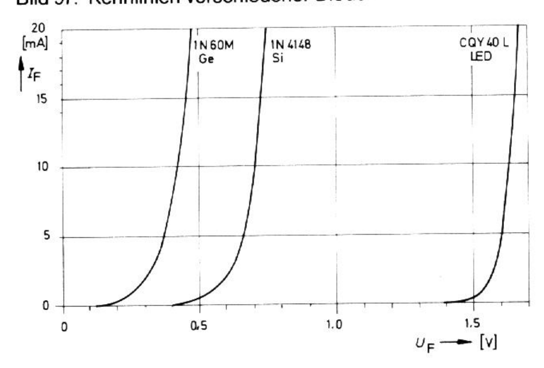
Die Kennlinien aller Dioden steigen ab der Schwellenspannung steil an. Die Spannung an einer Diode ändert sich nur noch unwesentlich, wohl aber der

Strom. Aus diesem Grunde kann man Dioden für einfache Spannungsstabilisierungen verwenden, wie es bereits in Kapitel 10.2 praktiziert wurde.

Für den praktischen Umgang mit Dioden sind vier Kennwerte wichtig:

1. Die maximale Sperrspannung U_{sp} (aus der Kennlinie hier nicht ersichtlich) gibt an, bis zu welcher Spannung eine Diode in Sperr-Richtung ohne Zerstörung betrieben werden kann.
2. Die Durchlaßspannung U_F ist der Wert, der bei Fließen eines Diodenstromes sich an der Diode einstellt. Die Durchlaßspannung sinkt mit steigender Temperatur.
3. Wird der maximale Durchlaßstrom I_F überschritten, so kann die Diode in Folge zu hoher Hitzeentwicklung zerstört werden.
4. Der Sperrstrom I_{sp} ist ein Strom, der in der Praxis auftritt, auch wenn die Diode sperrt. (Diese Tatsache wurde bei der Erklärung des pn-Überganges außer acht gelassen.) Er ist bei Germaniumdioden höher als bei Siliziumdioden, jedoch winzig klein gegenüber dem Durchlaßstrom. Mit steigender Temperatur steigt auch der Sperrstrom.

Bild 97. Kennlinien verschiedener Dioden



16.6 Ein kurzes Wort zur Leuchtdiode

Auch Leuchtdioden bestehen aus einer n- und einer p-leitenden Schicht. Aufgrund des pn-Überganges zeigen sie also deutliches Diodenverhalten. Im Gegensatz zu „normalen" Dioden jedoch sind Leuchtdioden in der Lage, einen Teil der elektrischen Energie nicht nur in Wärme, sondern auch in Lichtenergie umzuwandeln.

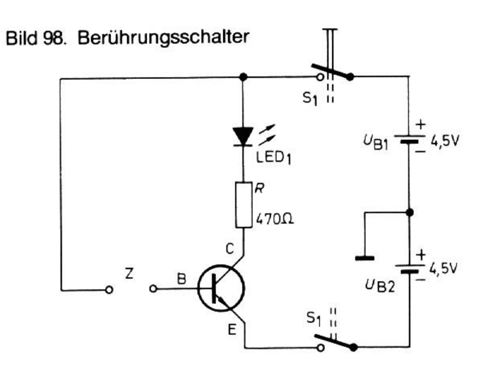
Im Aufbau unterscheiden sich Leuchtdioden von anderen Dioden durch eine spezielle Auswahl des Halbleitermaterials. Die Art der Halbleitermaterialien ist verantwortlich für die Farbe des abgestrahlten Lichts. Leuchtdioden verdrängen heute mehr und mehr die früher gebräuchlichen Glühlämpchen, da sie eine längere Lebensdauer haben, mit geringerem Strom auskommen und robuster als Lämpchen sind.

16.7 Der Transistor: Ein Verstärkerelement

Der Transistor (biegen wie in Teil III, Kap. 72.1 beschrieben) eignet sich hervorragend dazu, kleine Ströme zu verstärken. Das Prinzip ist sehr einfach: Man schickt einen kleinen Strom in den Transistor hinein und bringt damit einen wesentlich größeren Strom zum Fließen, mit dem man z.B. eine Leuchtdiode betreiben kann. Das Verhältnis von Ausgangsstrom zu Eingangsstrom nennt man Verstärkung:

$$\text{Stromverstärkung} = \frac{\text{Ausgangsstrom}}{\text{Eingangsstrom}}$$

Bild 98. Berührungsschalter



Die Stromverstärkung eines Transistors wird mit dem Buchstaben *B* bezeichnet. Eine sehr einfache Anwendung des Prinzips zeigt Bild 98:

An der Stelle Z ist die Leitung unterbrochen. Wenn wir die Unterbrechung mit einem feuchten Finger überbrücken, so fließt durch den Finger ein äußerst schwacher und ungefährlicher Strom von etwa 100 µA in den Transistor hinein. Der Transistor verstärkt diesen winzigen Strom kräftig. Der Ausgangsstrom reicht aus, die Leuchtdiode zum Leuchten zu bringen. Den Anschluß B nennt man Basis, den Anschluß C Kollektor und den Anschluß E Emitter.

Was wir bei dem Berührungsschalter sozusagen am eigenen Leibe erfahren haben, läßt sich durch die folgende Darstellung sehr gut erklären.

Auf Bild 99 b sehen wir, wie im Gegensatz zu Bild 99 a über den Basisbach B ein kleiner Wasserstrom fließt, der eine kleine Klappe etwas anhebt, bevor er sich in das Emitterbett ergießt. Diese Klappe ist mit dem Schleusentor verbunden. Je weiter die Klappe angehoben wird, desto mehr wird das

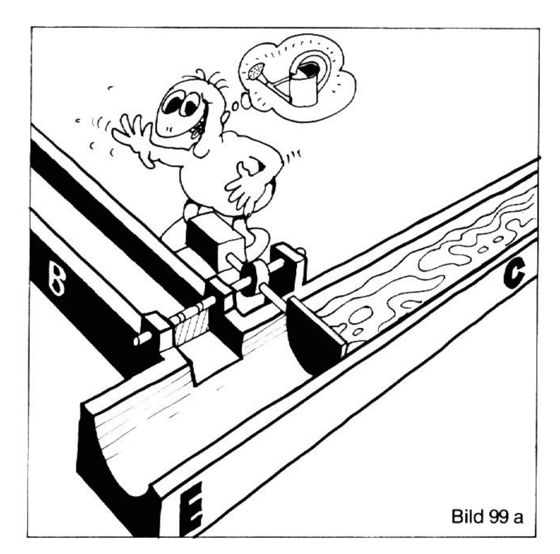


Bild 99 a

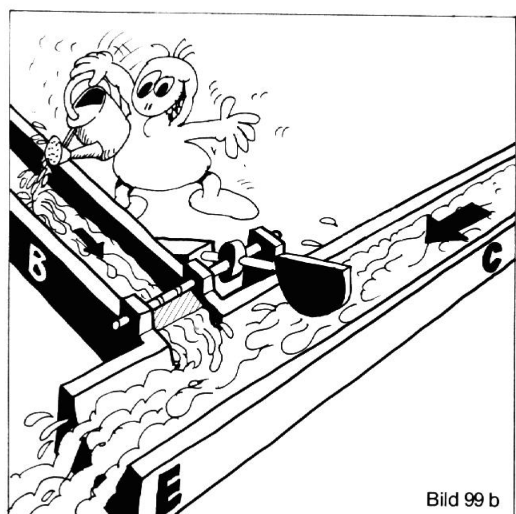


Bild 99 b

Bild 99. a (oben): Der Transistor ist gesperrt, da kein Basisstrom fließt; b (unten): Ein kleiner Basisstrom reicht aus, um den großen Kollektorstrom zu steuern.

Schleusentor geöffnet. Durch das Schleusentor fließt ein von C kommender Kollektorstrom in das Emitterbett E, der ein Vielfaches der Wassermenge des von B kommenden Basisbaches führt. Der schwache Basisstrom steuert durch die Schleuseneinrichtung die Stärke des Kollektorstromes. Der bei E aus dem Emitterbett herausfließende Emitterstrom ist die Summe aus dem starken Kollektorstrom und dem schwachen Basisstrom.

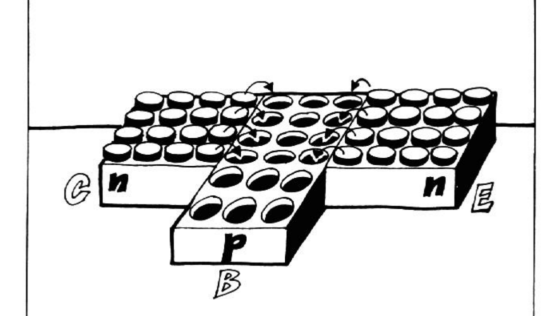
Wie die Diode, so ist auch der Transistor ein Halbleiterbauelement. Im Gegensatz zur Diode besteht er jedoch aus drei Schichten, die zum Beispiel in der Reihenfolge n-p-n angeordnet sein können. Jede dieser Schichten hat einen Anschlußpunkt. Der Basisanschluß ist zur mittleren Schicht geführt, Kollektor und Emitter liegen außen.

Die Leitungsvorgänge im Inneren des Transistors veranschaulicht schematisch die nachstehende Bildfolge 100 a–d.

Im Unterschied zum Wasserschleusenmodell wird dabei die reale Elektronenwanderung und nicht die technische Stromrichtung dargestellt.

(Die hier zum besseren Verständnis gezeigte „Scheibchenanordnung" der verschiedenen Schichten findet in der Praxis keine Anwendung. Je nach Art der technisch z. T. hochkomplizierten Herstellungsverfahren unterscheidet man Legierungstransistoren, Diffusionstransistoren, Drifttransistoren und Planartransistoren).

Bild 100 a



Die Schichten werden aneinandergefügt. Es setzt Diffusion ein.

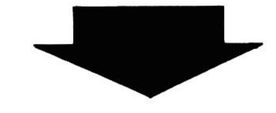
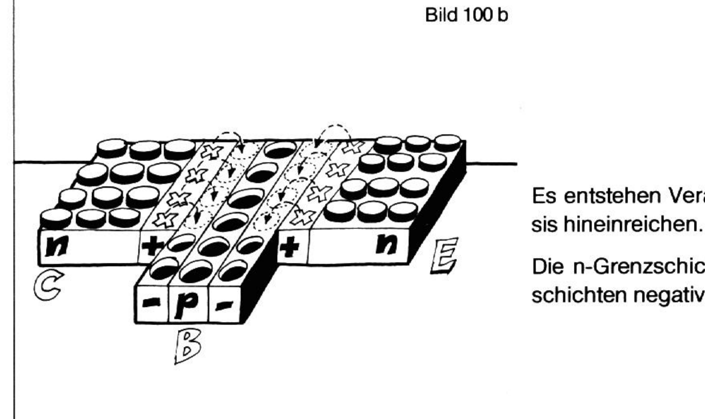


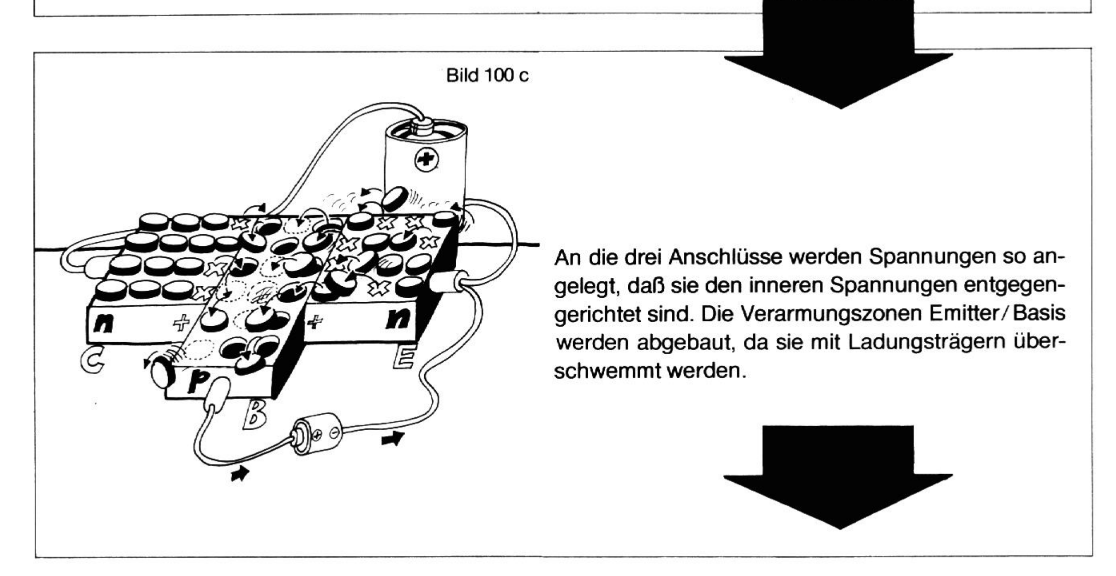
Bild 100 b



Es entstehen Verarmungszonen, die weit in die Basis hineinreichen.

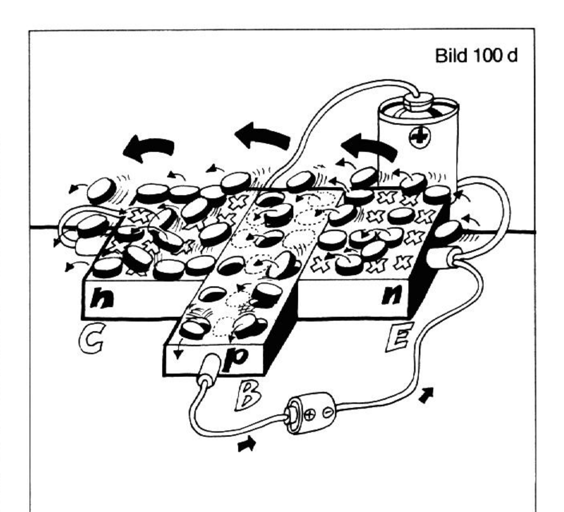
Die n-Grenzschichten werden positiv, die p-Grenzschichten negativ geladen (siehe Diode).

Bild 100 c



An die drei Anschlüsse werden Spannungen so angelegt, daß sie den inneren Spannungen entgegengerichtet sind. Die Verarmungszonen Emitter/Basis werden abgebaut, da sie mit Ladungsträgern überschwemmt werden.

Bild 100 d



Die p-Schicht der Basis ist sehr dünn: Deshalb gelangen auch Elektronen in die Kollektor-Verarmungszone. Der starke Kollektorstrom kommt in Gang.

Technisch wird auch die Schichtenfolge p-n-p verwirklicht.

Alle Erklärungen gelten sinngemäß auch für den pnp-Transistor, es muß lediglich die Polarität aller Spannungen umgedreht werden.

16.8 Echte Laborarbeit: Kennlinienaufnahme

Kennlinien sind für den Elektroniker das A und O, und sie spielen natürlich auch im Umgang mit Tran-

sistoren eine wesentliche Rolle. Im Gegensatz zu Widerständen und Dioden hat ein Transistor drei Anschlüsse und vier Kenngrößen, die sein Verhalten beschreiben:

Den Kollektorstrom I_C, den Basisstrom I_B, die Kollektor-Emitterspannung U_{CE} und die Basis-Emitterspannung U_{BE}. Es ist sinnvoll, drei dieser Größen in einem gemeinsamen Diagramm darzustellen; dabei ergibt sich jedoch nicht nur *eine* Kennlinie, sondern eine ganze Kennlinienschar.

Wir wollen das sogenannte Ausgangs-Kennlinienfeld aufnehmen, das die Beziehungen zwischen dem Kollektorstrom und der Kollektor-Emitter-Spannung bei verschieden großen Basisströmen darstellt. Sodann werden wir sehen, wie man durch Einzeichnen der Grenzleistungshyperbel und einer Arbeitsgeraden in ein Kennlinienfeld die optimale Arbeitsweise eines Transistors festlegen kann.

Bild 102 zeigt das Aufbaubild der Meßapparatur, Bild 101 das zugehörige Schaltbild. Das gestrichelt umrandete Kästchen mit dem Operationsverstärker dient hier als variable Spannungsversorgung für die Transistorschaltung (wie sie im einzelnen funktioniert, soll an dieser Stelle nicht erklärt werden; wir benutzen sie lediglich als Hilfsmittel für die Kennlinienaufnahme. Operationsverstärker werden später erklärt). Da uns nur *ein* Meßgerät zur Verfügung steht, muß es für die Aufnahme jedes Meßpunktes nacheinander zwei Funktionen erfüllen:

Strommessung und Spannungsmessung.

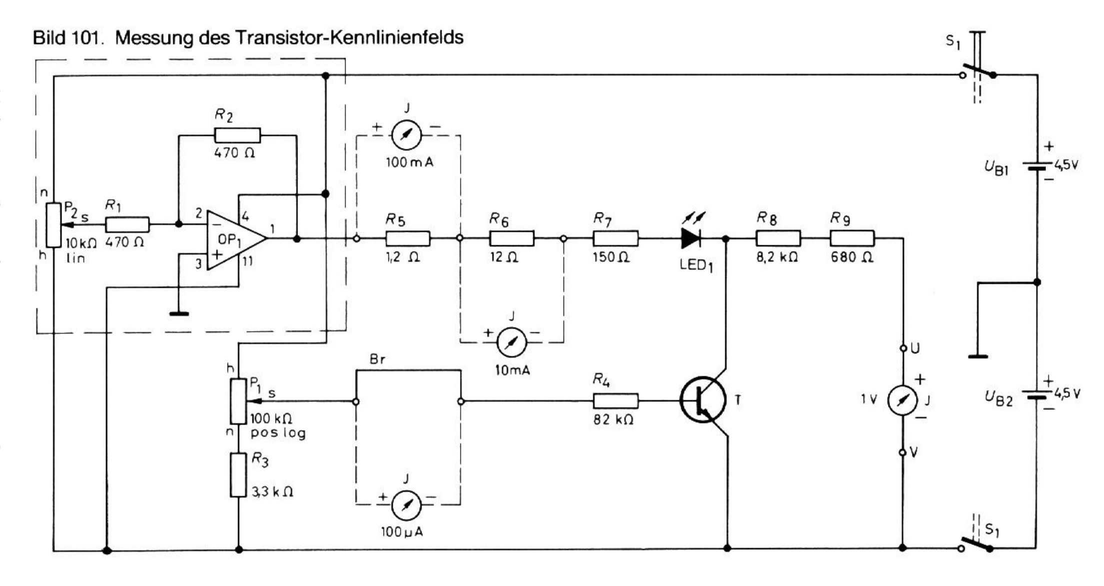
Das Rezept für die Kennlinienaufnahme sieht so aus:

1. Brücke herausziehen, Meßinstrument statt dessen einsetzen.
2. Am Poti P_1 drehen, bis das Instrument einen Basisstrom von 30 µA anzeigt. P_1 nicht mehr verändern.
3. Meßinstrument herausziehen, Brücke wieder einsetzen.
4. Meßinstrument an u und v anschließen (Polung beachten!). P_2 so einstellen, daß Meßinstrument $U_{CE} = 0{,}1$ V anzeigt (Instrument wird mit 8,2 kΩ und 680 Ω als Vorwiderstände betrieben, hat also einen Vollausschlag von 1 V). U_{CE} notieren.
5. Meßinstrument herausziehen und parallel zum 12-Ω-Widerstand einstecken. (Bei dem 12-Ω-Shuntwiderstand entspricht ein Skalenteil 1 mA). Wert für I_C ablesen und notieren. Schlägt der Zeiger am rechten Rand an, Instrument parallel zum 1,2-Ω-Widerstand anschließen und beachten, daß nun ein Skalenteil 10 mA entspricht.
6. Gemäß Punkt 4 nacheinander $U_{CE} = 0{,}2$ V, $U_{CE} = 0{,}3$ V usw. mit P_2 einstellen. Für jede Einstellung von U_{CE} Meßinstrument umstecken und gemäß Punkt 5 den zugehörigen Kollektorstrom I_C messen und notieren.
7. Entsprechend Punkt 1 einen Basisstrom von 50 µA und dann noch von 80 µA einstellen. Für jeden Basisstromfall die Prozedur 1–6 wiederholen.

Wenn wir alles richtig gemacht haben, erhalten wir eine Tabelle, deren Werte in das Linienfeld auf Seite 65 eingetragen eine Kurvenschar ergeben, die etwa der von Bild 104 entspricht.

Anhand dieser Tabelle können wir jetzt auf die Vorlage bei Bild 102 oder auf Millimeterpapier die Kurvenschar einzeichnen.

Bild 101. Messung des Transistor-Kennlinienfelds



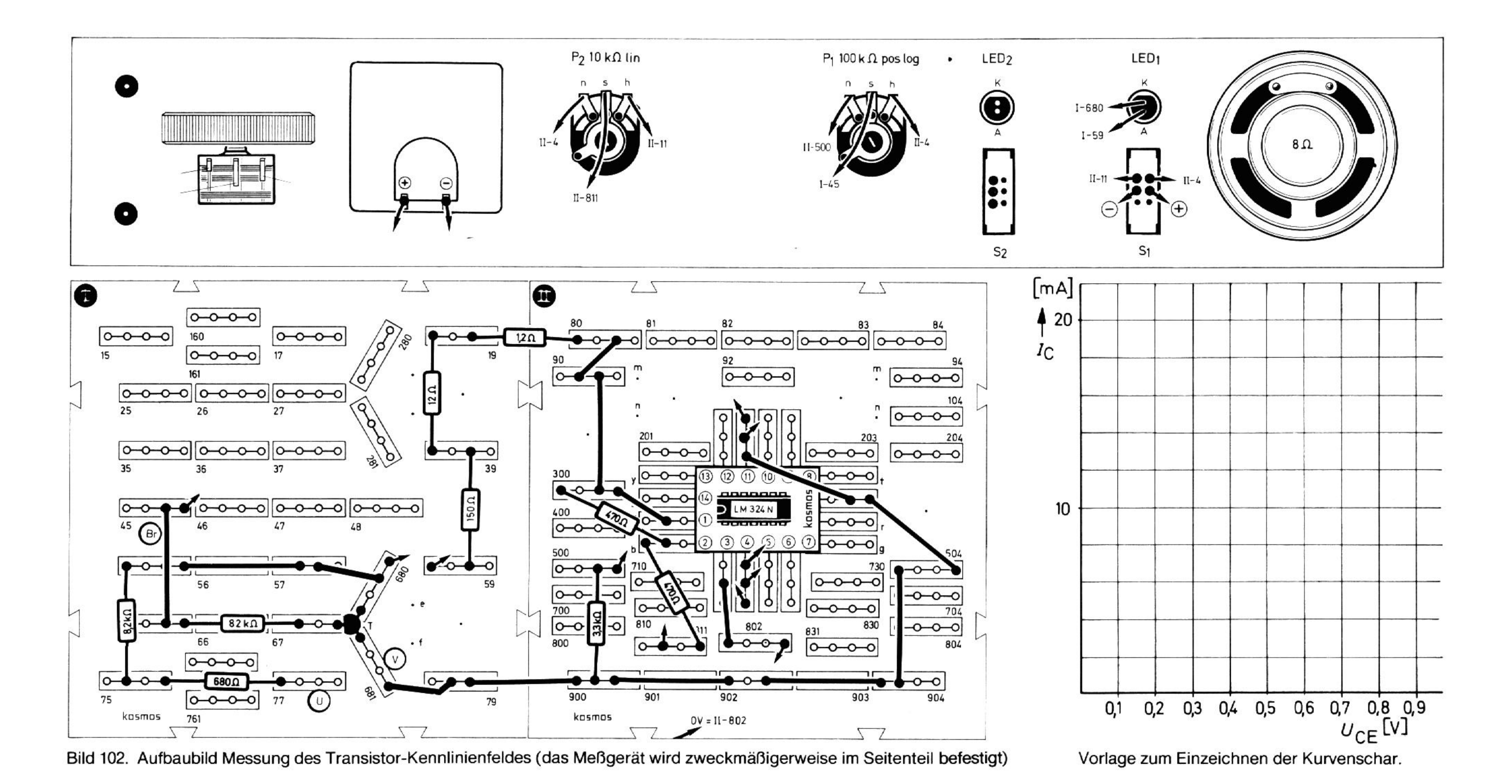
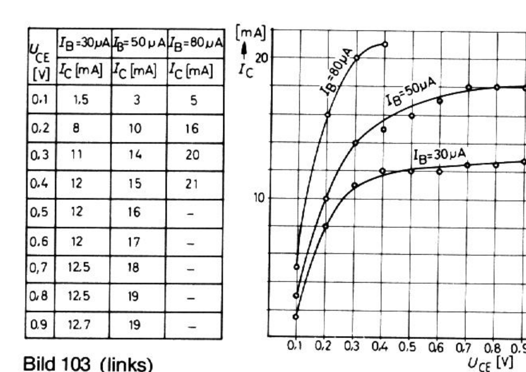


Bild 102. Aufbaubild Messung des Transistor-Kennlinienfeldes (das Meßgerät wird zweckmäßigerweise im Seitenteil befestigt)

Vorlage zum Einzeichnen der Kurvenschar.



U_{CE} [V]	I_B=30µA I_C [mA]	I_B=50µA I_C [mA]	I_B=80µA I_C [mA]
0.1	1.5	3	5
0.2	8	10	16
0.3	11	14	20
0.4	12	15	21
0.5	12	16	-
0.6	12	17	-
0.7	12.5	18	-
0.8	12.5	19	-
0.9	12.7	19	-

Bild 103 (links)

Bild 104. (rechts). Selbstaufgenommene Kennlinien. Für Messungen in der Nähe des Nullpunktes ist unsere Meßapparatur nicht so gut geeignet.

Geschafft! Es war mühsam, aber es hat sich gelohnt. Unsere Kennlinienschar könnte beinahe dem Datenblatt eines Transistorherstellers entnommen sein.

16.9 Über den Umgang mit Transistorkennlinien

Aus dem sogenannten „Ausgangs-Kennlinienfeld" eines Transistors kann eine Reihe wichtiger Dinge entnommen werden.

Abb. 105 zeigt ein Kennlinienfeld, das eine große Anzahl von Kennlinien enthält. Hier wurden außerdem die Grenzleistungshyperbel (225 mW nach Werksangabe für BC 238 C) und eine sogenannte Arbeitskennlinie eingetragen. Diese Linie ist für den Lastwiderstand von 150 Ω gültig (Lastwiderstand heißt in diesem Falle: Widerstand vom Transistorausgang zur Spannungsversorgung).

Um die Linie zu ermitteln, betrachten wir zwei Grenzfälle:

Fall 1: Kollektorstrom I_C sei 0, am Widerstand fällt dann keine Spannung ab, die gesamte Batteriespannung liegt am Transistor, also ist $U_{CE} = 4{,}5$ Volt. Dies ergibt den ersten Punkt der Arbeitskennlinie (Punkt F_1).

Fall 2: Die gesamte Batteriespannung liegt am Widerstand, der Transistor ist vollkommen leitend, also $U_{CE} = 0$. Somit fließt durch den Lastwiderstand der maximal mögliche Strom von

$$\frac{U_b}{R_L} = \frac{4{,}5\,\text{V}}{150\,\Omega} = 30\,\text{mA}$$

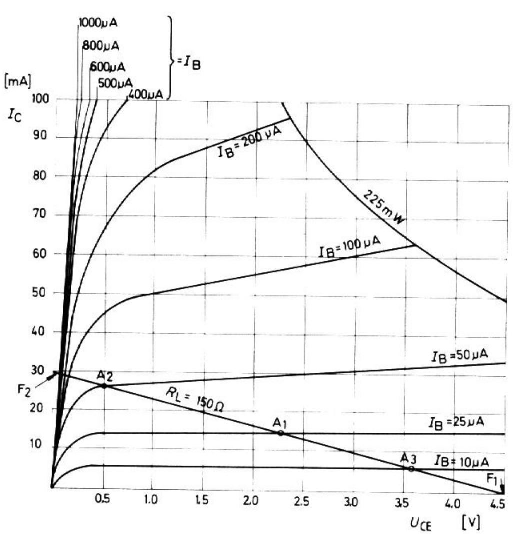


Bild 105. Ausgangskennlinienfeld des Transistors BC 238 C

Jetzt erhält man einen zweiten Punkt der Geraden (Punkt F_2). Zwischen den beiden Grenzwerten F_1 und F_2 sind alle Zwischenwerte möglich, da sich die Batteriespannung nur in einem bestimmten Verhältnis zwischen Lastwiderstand und Spannung am Transistor aufteilen kann. Da wo die Arbeitsgerade die Transistorkennlinien schneidet, sind *Arbeitspunkte* für den Transistor möglich.

Sie geben an, welche Werte bei gegebenem Lastwiderstand Kollektorstrom, Basisstrom und Kollektor-Emitter-Spannung einnehmen können. Für A_1 gilt beispielsweise: Bei einem Basisstrom von 25 µA fließt ein Kollektorstrom von 15 mA, und die Kollektor-Emitter-Spannung beträgt 2,25 V. Am Lastwiderstand liegt dann eine Spannung von $U_B - U_{CE} = 4{,}5\,\text{V} - 2{,}25\,\text{V} = 2{,}25\,\text{V}$.

Ändern wir den Basisstrom (Arbeitspunkte A_2 und A_3), so ändern sich auch Kollektorstrom und Kollektor-Emitter-Spannung. Diese Tatsache, die wir jetzt in Zahlenwerten am Kennlinienfeld direkt ablesen können, wurde im Prinzip durch das einfache Wasserschleusenmodell bereits ausgedrückt: Schwache Basisstromänderungen bewirken starke Kollektorstromänderungen. Der Transistor kann also auch Änderungen verstärken.

Wir werden uns dies bei Wechselspannungsverstärkern zunutze machen (Kap. 22.1). Der Verstärkungsfaktor bei veränderlichen Größen wird mit β (griechischer Kleinbuchstabe Beta) bezeichnet.

An der folgenden Schaltung kann man die beschriebenen Eigenschaften des Transistors auch ohne Meßgerät überprüfen. Sie dient außerdem zur Identifizierung von npn- und pnp-Transistoren.

17. Transistor-Praxis – Teil 1

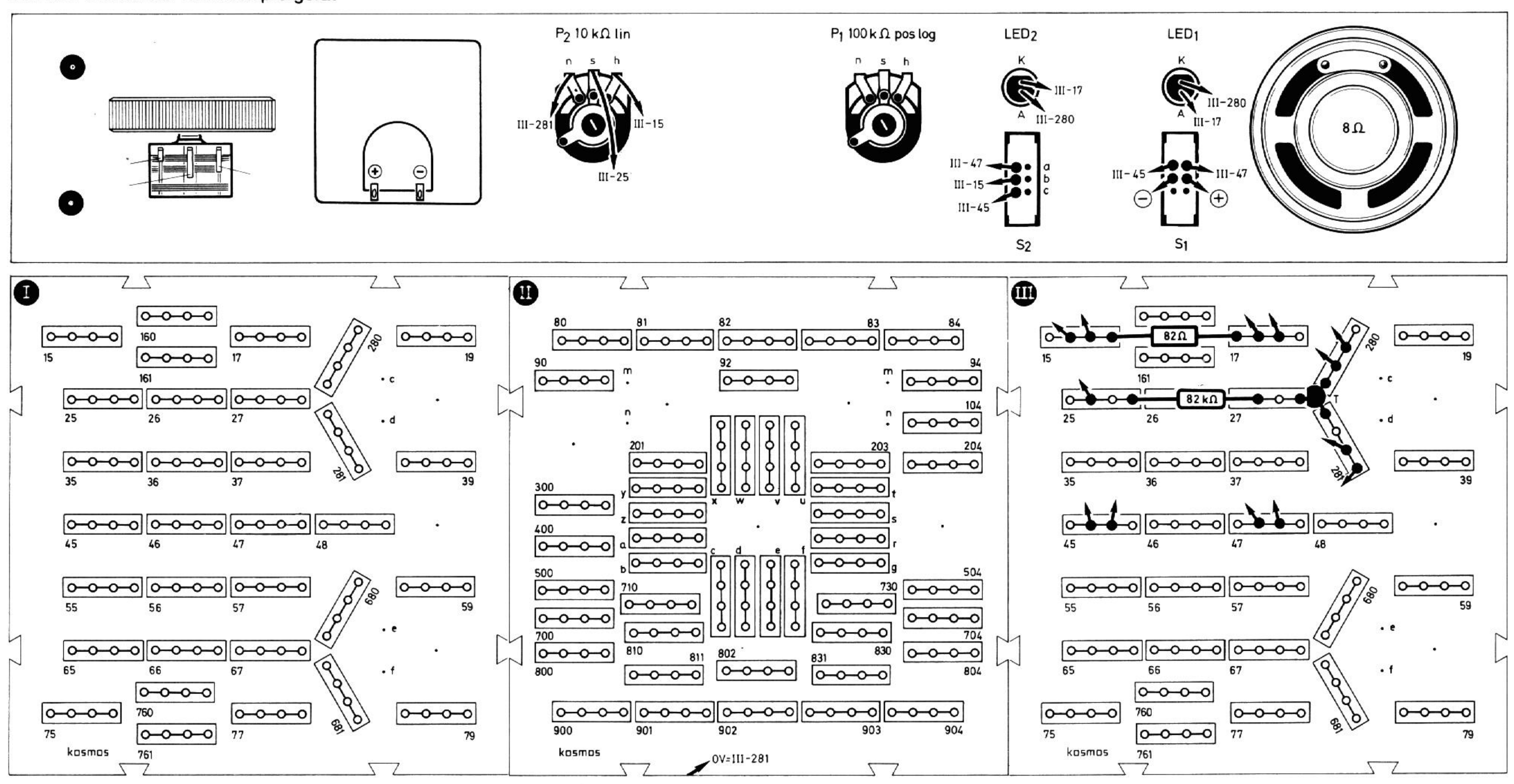
17.1 Ein Transistor-Prüfgerät

Bild 106 und 107 zeigen Aufbau- und Schaltbild des Transistorprüfers. Durch Verdrehen von P_2 können verschiedene Basisströme eingestellt werden. Ist der Transistor in Ordnung, dann muß eine der beiden Leuchtdioden aufleuchten und ihre Helligkeit sich durch Verstellen von P_2 stetig regeln lassen. Ist der Prüfling ein npn-Transistor, so leuchtet LED_1 (Schalter S_2 oben), handelt es sich um einen pnp-Typ, so leuchtet LED_2 (Schalter S_2 unten).

17.2 Der Transistor als Schalter

Die Vorteile elektronischer Schalter gegenüber mechanischen Anordnungen hatten wir bereits ganz am Anfang dieses Buches kennengelernt. Von einem Schalter verlangt man, daß im ausgeschalteten Zustand kein Strom fließt und im eingeschalte-

Bild 106. Aufbaubild Transistorprüfgerät



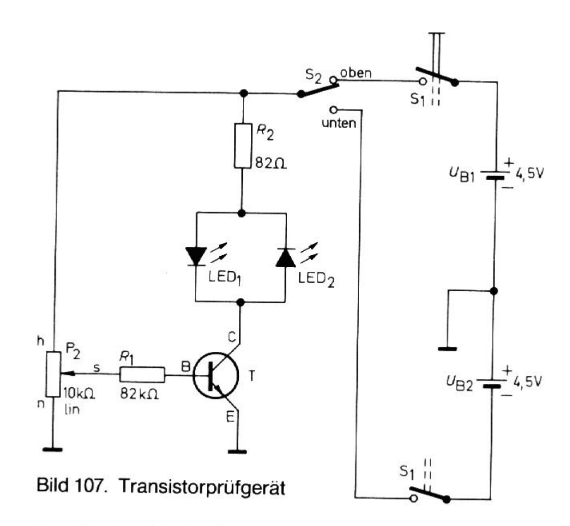


Bild 107. Transistorprüfgerät

ten Zustand kein Spannungsabfall am Schalter entsteht.

Keine der beiden Forderungen erfüllt der Transistor hundertprozentig: Wenn man ihn sperrt (Basis-Emitter-Spannung = 0 V; es fließt kein Basisstrom), so kann man trotzdem einen winzigen Kollektor-Emitter-Reststrom messen, der jedoch in der Praxis oft vernachlässigt werden kann. Macht man ihn leitend (beim npn-Typ: Basis auf positive Spannung gegenüber dem Emitter, es fließt Basisstrom), so bleibt in der Praxis auch bei ausreichend großem Basisstrom immer eine geringe Kollektor-Emitter-Restspannung am Transistor stehen. Ab einer bestimmten Basisstromgröße kann die Kollektor-Emitter-Spannung nicht mehr kleiner werden. Dies nennt man die Sättigung des Transistors. Als elektronischer Schalter wird ein Transistor in der Sättigung betrieben.

In den folgenden Kapiteln werden verschiedene grundsätzliche Möglichkeiten gezeigt, wie der Transistor als Schalter eingesetzt werden kann.

17.3 Flip-Flop mit Transistoren

Flip-Flops sind universell einsetzbare elektronische Umschalter. Sie haben entscheidende Bedeutung in der Schalt- und Computertechnik. Ihr Anwendungsbereich reicht von der einfachen Alarmschaltung bis zu den Speicherelementen in Großrechenanlagen.

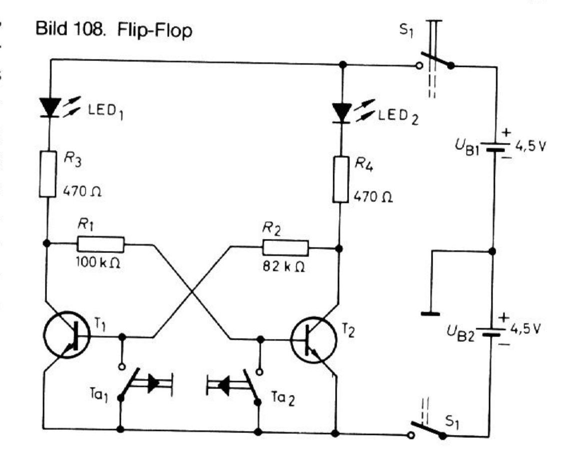
Wir bauen den Flip-Flop nach Abb. 112, Seite 70 auf.

Im Schaltbild 108 sehen wir, daß jeweils die Basis des einen Transistors mit dem Kollektor des anderen über einen Widerstand verbunden ist. In den Kollektorleitungen liegen als „Verbraucher" Leuchtdioden mit ihren Schutzwiderständen.

Wie funktioniert die Schaltung?

Wird Taster 1 gedrückt, so sperrt Transistor T_1,

Bild 108. Flip-Flop



weil die Basis-Emitter-Spannung 0 V wird und somit kein Basisstrom fließen kann. Über R_1 erhält die Basis von T_2 positive Spannung, T_2 leitet.

Seine Kollektor-Emitter-Spannung wird sehr klein, über R_2 liegt an der Basis von T_1 fast 0 V, T_1 bleibt gesperrt, so daß LED_2 leuchtet und LED_1 dunkel ist.

Auch nach Öffnen des Tasters 1 bleibt dieser Zustand erhalten, bis Taster 2 gedrückt wird. Dann sperrt T_2, und die Basis von T_1 liegt über R_2 an positiver Spannung. Nun ist die Kollektor-Emitter-Spannung von T_1 winzig klein, und die Basis von T_2 liegt über R_1 fast an 0 V, T_2 bleibt gesperrt. Damit leitet T_1 und LED_1 leuchtet, während LED_2 ausgeht.

17.4 Der astabile Multivibrator

schaltet automatisch zwischen zwei Zuständen hin und her. Er dient zur Erzeugung von Lichtsignalen, Tönen und anderen Schwingungen.

Schaltung 109 ist eine Blinkanlage mit zwei Transistoren (Aufbaubild 113, Seite 71).

Zur Funktionserklärung nehmen wir an, daß z. B. T_1 leitend sei; dann lädt sich C_1 über R_1 langsam auf. Am rechten Anschluß von C_1 steigt die Spannung langsam an. Ein bestimmter Wert der Ladespannung reicht aus, um T_2 leitend zu machen. Dessen Kollektor-Emitter-Spannung geht dann fast auf 0 V, über C_2 geht ein kräftiger negativer Impuls auf die Basis von T_1, so daß dieser Transistor nun sperrt.

Der Kondensator-Ladevorgang spielt sich nun an R_2 und C_2 ab, bis am linken Anschluß von C_2 die Ladespannung einen Wert erreicht hat, der T_1 wieder leitend machen kann. Ein negativer Impuls geht nun auf die Basis von T_2 und sperrt diesen. Der Ausgangszustand ist wieder hergestellt.

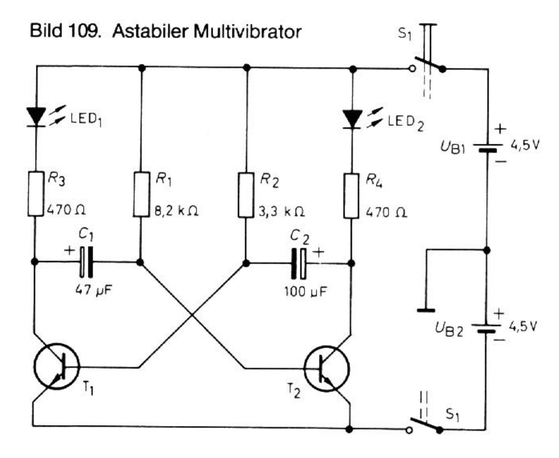


Bild 109. Astabiler Multivibrator

17.5 Die monostabile Kippstufe

Eine monstabile Kippstufe ist eine Verzögerungsschaltung (Schaltbild 110, Aufbaubild 114, Seite 72). Durch äußere Einflüsse (hier durch Betätigen des Tasters) kippt sie in eine „Arbeitsstellung" und kehrt nach einer Zeit, die durch den Kondensator C und den Widerstand R_2 vorgegeben ist, in ihre Ursprungslage zurück.

Kurzbeschreibung:
Im Ruhezustand erhält die Basis von T_2 und über R_2 Basisstrom; T_2 leitet, seine Kollektor-Emitterspannung ist nahezu 0 V. Die Basis von T_1 liegt über R_1 also auch auf fast 0 V, T_1 sperrt. Wird nun der Taster gedrückt, so sperrt T_2, T_1 erhält über R_1, R_4 und die LED Basisstrom und geht in den leitenden Zustand über. Der linke Anschluß des Kondensators liegt somit über der Kollektor-Emitter-Strecke von T_1 auf fast 0 V. Nach dem Loslassen der Taste beginnt der Kondensator, sich über R_2 aufzuladen. Erreicht die Spannung am rechten Kondensatoranschluß einen Wert, der T_2 leitend machen kann, so springt die Kippstufe wieder in ihre Ausgangslage zurück.

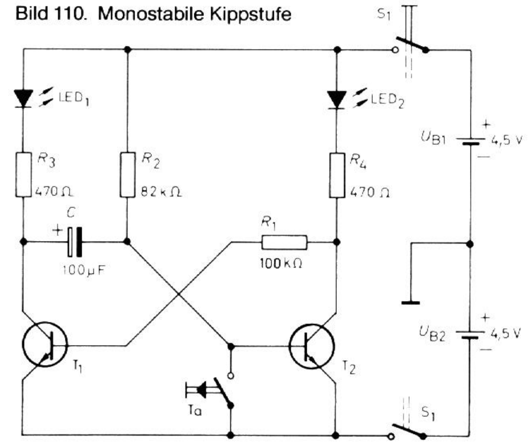


Bild 110. Monostabile Kippstufe

17.6 Der Trigger des Herrn Schmitt

Sehr oft wird ein elektronischer Schalter benötigt, der nur bei Überschreiten einer in ihrer Höhe definierten, angelegten Eingangsspannung U_E schaltet. Ein solcher Schalter heißt Schmitt-Trigger (Schaltbild 111, Aufbaubild 115, Seite 73).

Ohne Eingangsspannung leuchtet LED_2, und LED_1 ist dunkel.

Ist die Eingangsspannung unterhalb der zum Schalten notwendigen Spannung, man nennt sie auch Schwellenspannung, so ist T_1 gesperrt und T_2 infolgedessen leitend. Die Emitter beider Transistoren liegen über einem gemeinsamen Widerstand R_E an der negativen Versorgungsspannung. Da T_2 leitet, fällt an R_E eine Spannung ab. Die Emitterspannung von T_1 ist also nach positiven Werten verschoben.

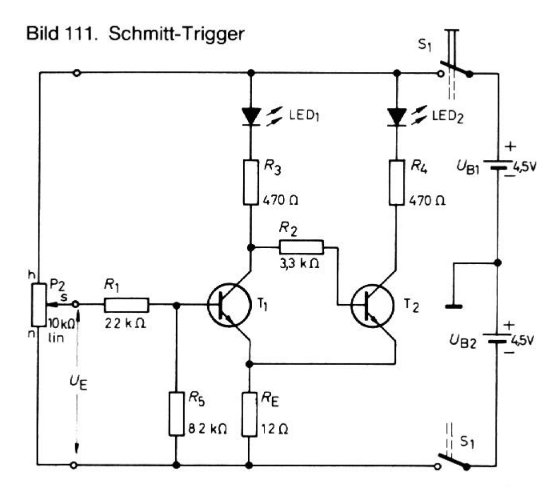


Bild 111. Schmitt-Trigger

Wenn die Eingangsspannung diesen Spannungsabfall zuzüglich der U_{BE}-Spannung geringfügig überschreitet, dann wird T_1 schlagartig leitend, die Leuchtdiode 1 leuchtet und Leuchtdiode 2 erlischt.

Sinkt die Eingangsspannung wieder ab, schaltet der Schmitt-Trigger wieder zurück. Die Eingangsspannung, bei der der Schmitt-Trigger wieder zurückkippt, ist niedriger als die, bei der er eingeschaltet wurde. Diese Eigenart nennt man Hysterese.

Übrigens: Der Trigger hat seinen Namen in der Tat von einem Herrn Schmitt, welcher diese Schaltung erfunden haben soll.

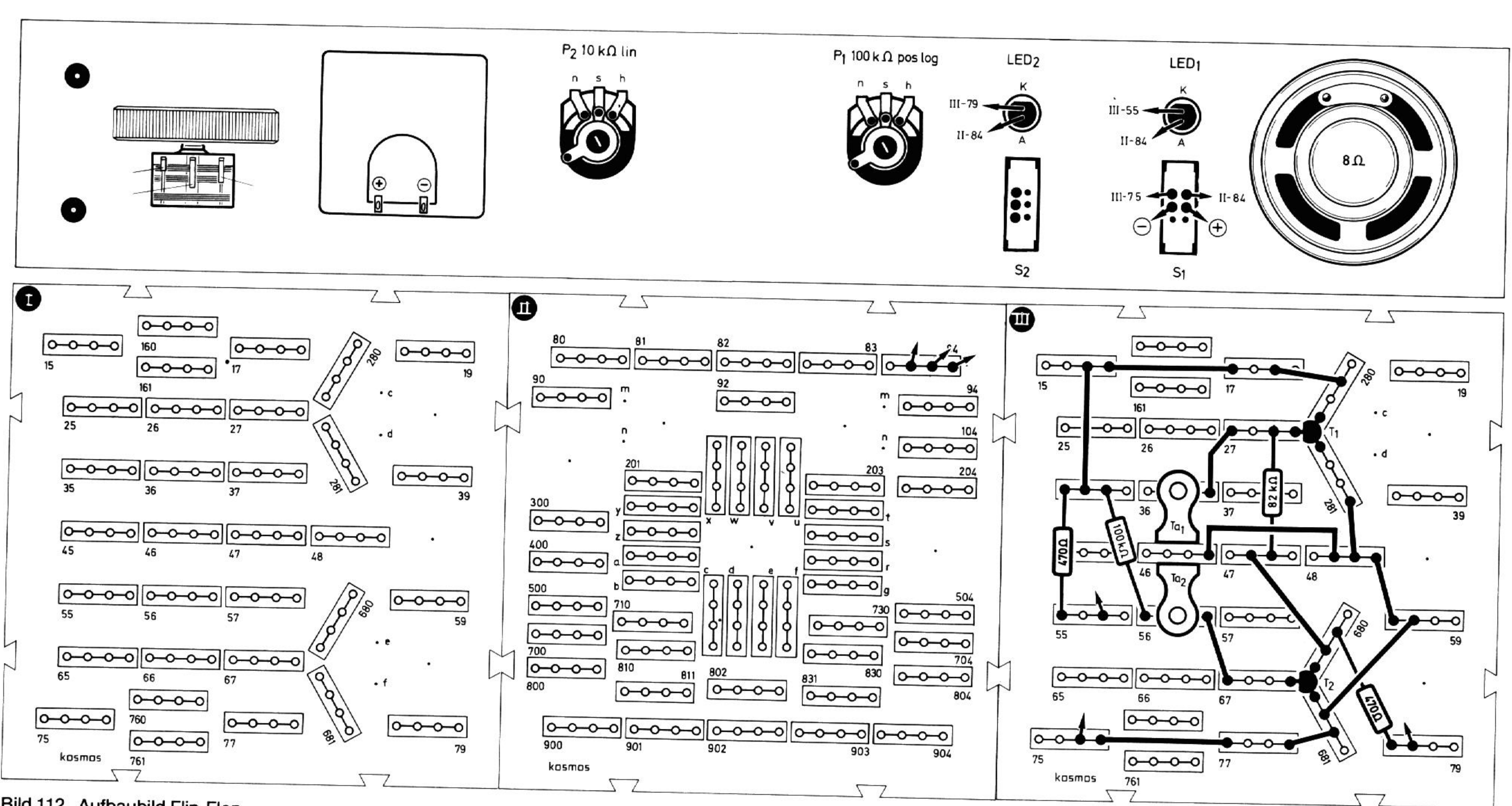


Bild 112. Aufbaubild Flip-Flop

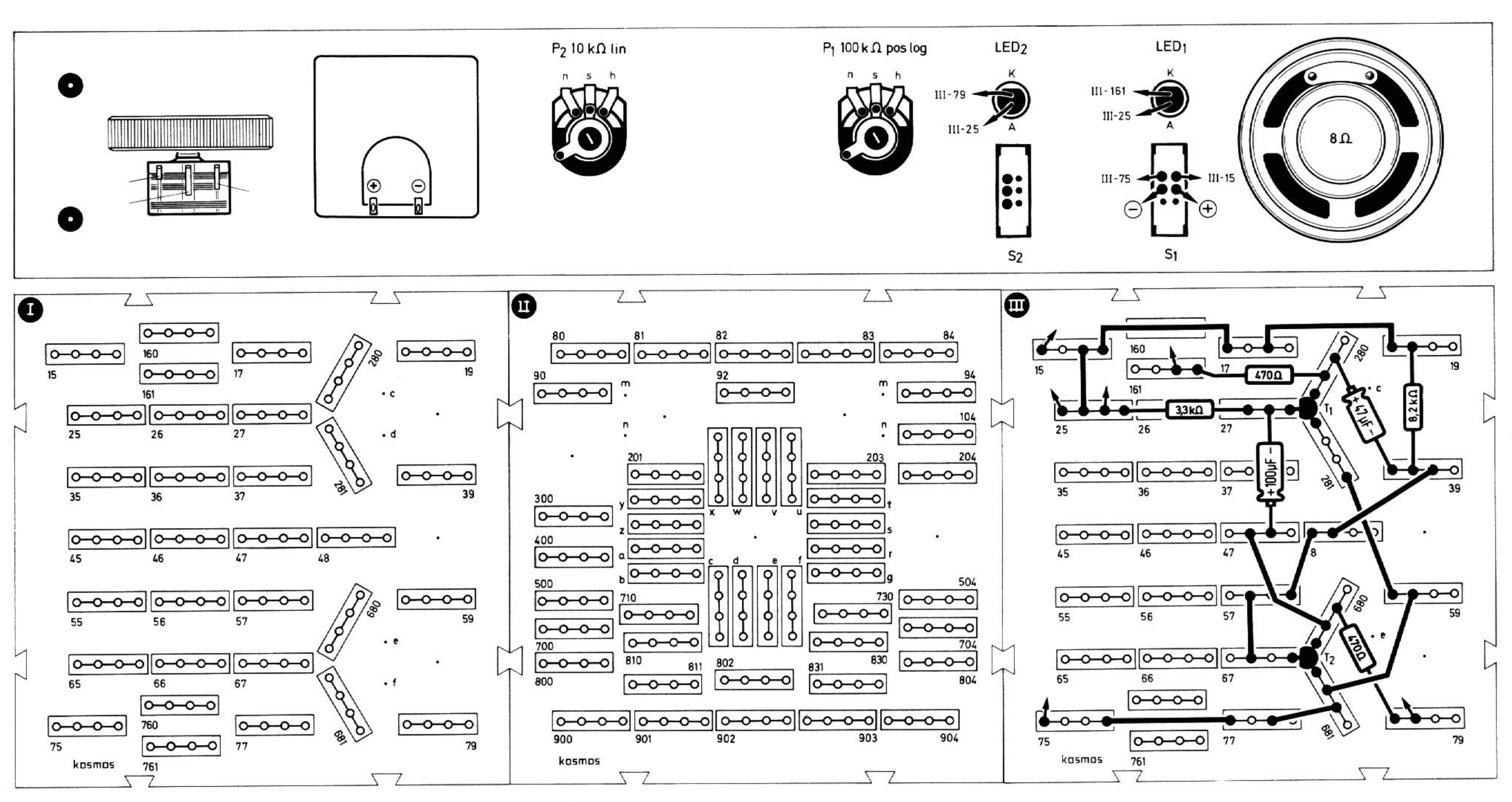


Bild 113. Aufbaubild astabiler Multivibrator

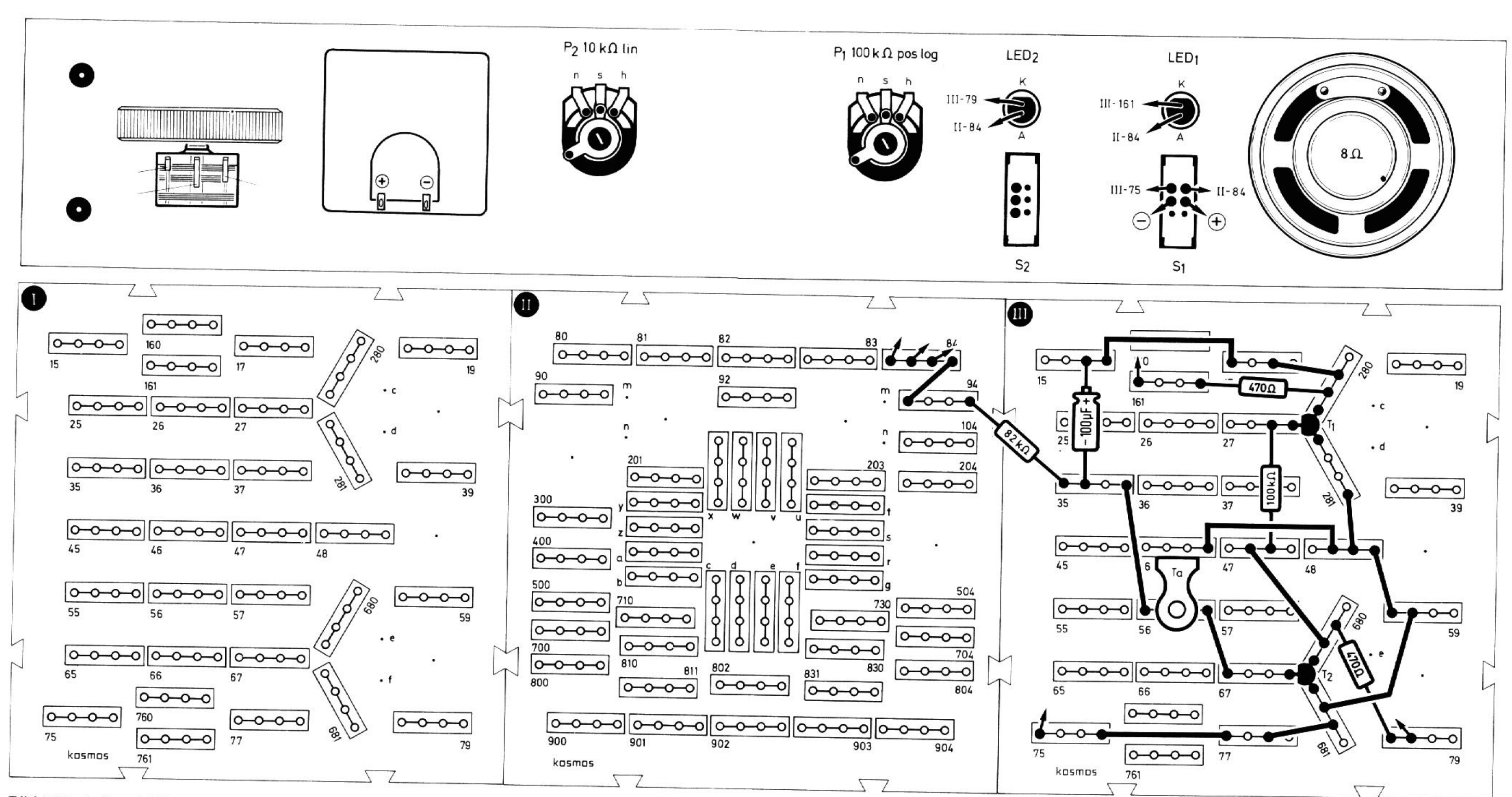


Bild 114. Aufbaubild monostabile Kippstufe

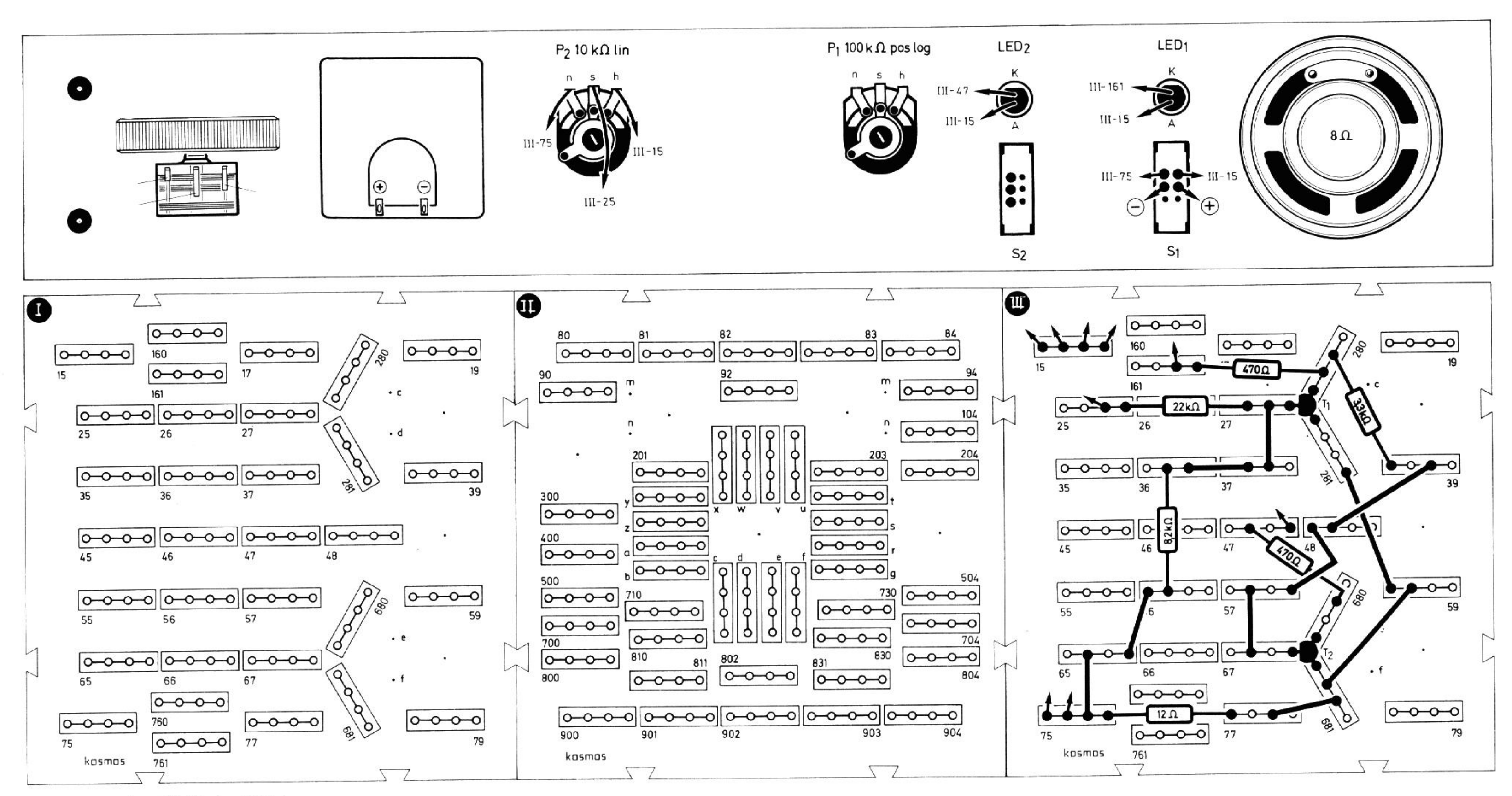


Bild 115. Aufbaubild Schmitt-Trigger

18. Leicht zu handhaben: Der gezähmte Operationsverstärker

Was der Transistor leistet, ist bereits erstaunlich. Der Operationsverstärker mit seinen vielen Transistorfunktionen bietet natürlich noch weitaus vielfältigere Anwendungsmöglichkeiten.

18.1 Der invertierende Verstärker

In den Komparator-Schaltungen konnte der Operationsverstärker ungezügelt seine volle Verstärkung von etwa 100 000 entwickeln: Bereits bei geringen Spannungsdifferenzen zwischen den Eingängen ging der Ausgang sofort in die Sättigung. Für Komparatorzwecke ist diese Eigenschaft erwünscht, nicht jedoch, wenn man mit dem OP eine Spannung um einen bestimmten Faktor, z. B. 10, verstärken will.

Die Zähmung des Operationsverstärkers erreicht man durch negative Rückkopplung: Das Ausgangssignal wirkt dem Eingangssignal entgegen. Um diesen Vorgang zu veranschaulichen, betrachten wir folgendes System (Bild 116):

Die Temperatur einer ans Lichtnetz angeschlossenen Kochplatte soll unabhängig von Umgebungseinflüssen konstant gehalten werden. Man bringt deshalb über der Kochplatte einen Metallblock an, dessen Widerstand bei Erhitzen steigt. Der Metallwiderstand wird mit der Kochplatte elektrisch in Reihe geschaltet. Ein Regelprozeß kommt in Gang: Steigt die Temperatur der Kochplatte an, wird der Widerstand des Metallblocks größer. Dadurch wird der Strom kleiner, und die Kochplatte heizt weniger. Kühlt man die Kochplatte ab, sinkt der Widerstand

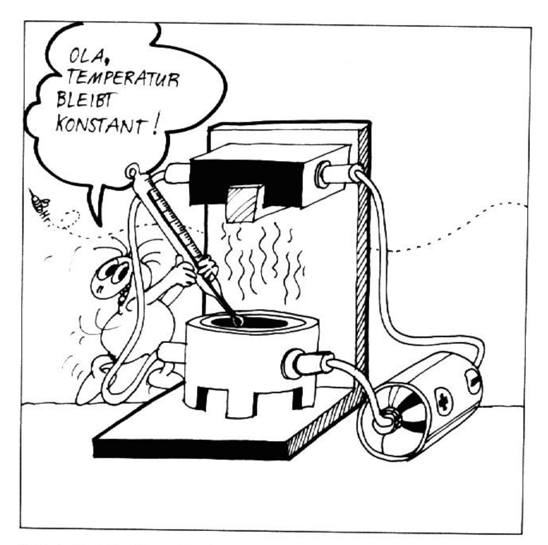


Bild 116. Ein Regelkreis mit negativer Rückkopplung: Wird die Kochplatte heißer, so steigt der Widerstand des Metallblockes, und der Strom sinkt ab.

des Metallblockes, es fließt nun mehr Strom, und die Heizleistung der Kochplatte steigt wieder an.

Bei gegebener Netzspannung stellt sich automatisch ein Gleichgewichtszustand ein, und die Temperatur bleibt konstant. Einen solchen Regelkreis, bei dem die Ausgangsgröße (Wärme) eine negative Auswirkung auf ihre eigene Ursache (Strom) hat, stellen wir beim Operationsverstärker dadurch her, daß wir vom Ausgang des OP einen Widerstand zum invertierenden Eingang legen. Negativ ist diese Rückkopplung deshalb, weil am Ausgang eines OPs das Signal des invertierenden Eingangs mit umgekehrtem Vorzeichen erscheint (wenn der andere Eingang auf Masse geschaltet ist).

Die Grundschaltung eines sogenannten invertierenden Verstärkers mit einem fest eingestellten Verstärkungsfaktor zeigt Abb. 117. Damit der Ausgang nicht in die Sättigung geht, dürfen an den Eingängen nur minimalste Differenzspannungen auftreten. Durch das Prinzip der negativen Rückkopplung stellt eine bestimmte Ausgangsspannung selbsttätig diejenige winzige Eingangsspannung ein, die für ihre Entstehung erforderlich ist.

Wie hoch ist nun der Verstärkungsfaktor in Schaltung 117?

Da wir Spannungen verstärken wollen, gilt:

$$\text{Verstärkung} = \frac{\text{Ausgangsspannung}}{\text{Eingangsspannung}}$$

oder

$$V = \frac{U_A}{U_E}$$



Beziehungen für U_A und U_E beschaffen wir uns jeweils nach der Kirchhoffschen Maschenregel:

1) $-U_A - I_2 \cdot R_2 + U_N = 0$
   (Masche: Masse-A-K-Masse)
2) $-U_E + I_1 \cdot R_1 + U_N = 0$
   (Masche: Masse-E-K-Masse)

Wenn wir annehmen, daß in den OP am Eingang weder Strom hineingeht noch herauskommt (in der

Bild 117

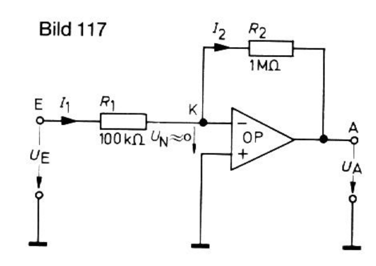


Bild 118. Aufbaubild Operationsverstärker als invertierender Verstärker

Praxis ist der Eingangsstrom auch nur Bruchteile von μA), so muß der Strom I_1, der in den Knotenpunkt K hineinfließt, genauso groß sein wie der Strom I_2, der aus ihm herausfließt (1. Kirchhoffsche Regel):

$$I_1 = I_2 = I$$

Wenn weiter beachtet wird, daß U_N (also die Spannung direkt an den OP-Beinen) winzig klein ist, macht man keinen großen Fehler, wenn man sie in den beiden Maschengleichungen als $U_N = 0$ setzt.

Damit erhalten wir:

$$-U_A - I \cdot R_2 = 0$$

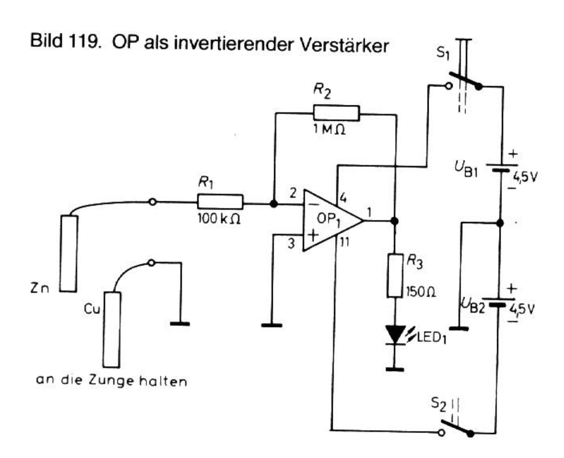
$$-U_E + I \cdot R_1 = 0$$

Aus diesen beiden Gleichungen erhalten wir

$$-\frac{U_A}{U_E} = V = \frac{R_2}{R_1} \text{ oder } U_A = -U_E \cdot \frac{R_2}{R_1}$$



Bild 119. OP als invertierender Verstärker



Wir können also an einem OP eine beliebige Verstärkung durch zwei ganz gewöhnliche Widerstände einstellen. Die max. mögliche Verstärkung unseres OP ist natürlich, wie wir wissen, 100 000fach und nicht unendlich.

Die wichtigsten Eigenschaften des invertierenden Verstärkers sind:

1. Eingangs- und Ausgangsspannung haben verschiedene Polarität, daher Minuszeichen in F 29.
2. Eine angelegte Spannung kann nicht nur verstärkt, sondern auch abgeschwächt werden; dann nämlich, wenn R_2 kleiner ist als R_1.
3. Da der nichtinvertierende Eingang auf Masse gelegt ist und zwischen den Eingängen praktisch keine Spannungsdifferenz besteht, liegt auch der invertierende Eingang quasi auf Masse, man spricht von einem „virtuellen" Nullpunkt.

Dies ist wichtig für die Betrachtung des Eingangswiderstandes: Der an und für sich hohe Eingangswiderstand des OP kommt nicht zum Tragen, und R_1 wird zum Eingangswiderstand der Gesamtschaltung.

In Abb. 117 berechnet sich die Verstärkung des OP zu

$$V = \frac{R_2}{R_1} = \frac{1\ \mathrm{M\Omega}}{100\ \mathrm{k\Omega}} = 10$$

Mit Schaltung 119 kann eine Leuchtdiode „mit der Zunge" zum Leuchten gebracht werden. Den Aufbau zeigt Bild 118, Seite 75. Man hält die beiden Blechstreifen an die Zunge, ohne daß sie sich berühren. Damit hat man eine „Zungenbatterie" hergestellt, deren Spannung allerdings für den Betrieb der Leuchtdiode selbst viel zu gering wäre. Mit nachgeschaltetem Operationsverstärker wird die Spannung um den Faktor 10 verstärkt. Die LED leuchtet.

Bevor wir uns mit ernsthafteren Anwendungen beschäftigen, wollen wir noch die zweite wichtige Verstärkergrundschaltung zum OP kennenlernen.

18.2 Der nichtinvertierende Verstärker

Bild 120

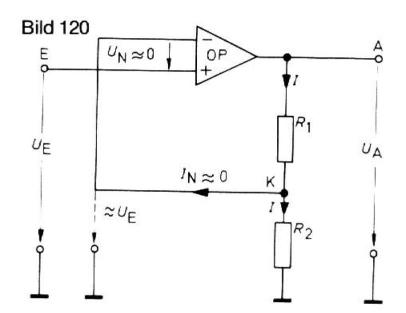


Abb. 120 zeigt die Beschaltung des nichtinvertierenden Operationsverstärkers. Auch hier wird das Prinzip der Gegenkopplung angewandt, allerdings wird nur ein Teil der Ausgangsspannung zurückgeführt; R_1 und R_2 bilden einen Spannungsteiler. Da die Differenzspannung zwischen den Eingängen so gering ist, daß man sie zu Null annehmen kann, liegt am invertierenden Eingang eine Spannung, die praktisch genauso groß ist wie U_E. Die Rechnung wird wiederum sehr einfach (Kirchhoffsche Maschenregel):

$$-U_A + I \cdot (R_1 + R_2) = 0$$

(Masche: Masse–A–K–Masse)

$$-U_E + I \cdot R_2 = 0$$

(Masche: Masse–E–K–Masse)

Die Verstärkung V folgt zu:

$$V = \frac{U_A}{U_E} = \frac{R_1 + R_2}{R_2} = 1 + \frac{R_1}{R_2} \qquad \text{(F 30)}$$

Worin besteht der Unterschied zum invertierenden Verstärker?

1. Eingangsspannung und Ausgangsspannung haben dieselbe Polarität.
2. Am nichtinvertierenden Verstärker lassen sich keine Verstärkungsfaktoren kleiner als 1 einstellen, d. h. man kann Spannungen nicht abschwächen.
3. Der Eingangswiderstand ist extrem hoch.

19. Operationsverstärkerpraxis

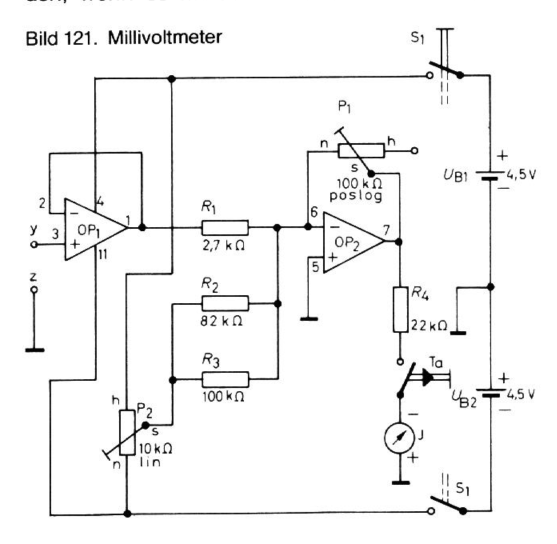
Nachdem wir die beiden Grundschaltungen vom Verstärker mit OP kennengelernt haben, sollen im

folgenden einige praktische Beispiele zur Anwendung gegeben werden. Es wird aufgrund der erworbenen Kenntnisse leicht sein, die Schaltungen zu verstehen.

19.1 Millivoltmeter mit hohem Eingangswiderstand

Wenn Spannungen gemessen werden, ist es störend, daß das Meßinstrument Strom verbraucht und somit das Meßobjekt belastet. Schlechte Erfahrungen wurden bereits beim Versuch mit der Salzwasserbatterie gemacht. Ein Voltmeter sollte also möglichst hochohmig sein. Ob ein Voltmeter hochohmig oder niederohmig ist, kann nur bezogen auf den Innenwiderstand R_i der gemessenen Spannungsquelle gesagt werden. Als hochohmig kann ein Voltmeter eigentlich nur dann betrachtet werden, wenn es mindestens den 100fachen Widerstand des R_i der zu messenden Spannungsquelle hat. Dann liegt der durch die Belastung bei der Messung verursachte Fehler im Bereich von 1%.

Bild 121. Millivoltmeter



Ein sehr hochohmiges Meßinstrument kann man sich mit einem nichtinvertierenden OP als Eingangsstufe aufbauen. Ein hochohmiges Voltmeter mit 1000 mV Vollausschlag zeigt Bild 121.

Der linke OP hat den Verstärkungsfaktor 1, er wird als sogenannter Spannungsfolger bezeichnet. Spannungsfolger sind nichtinvertierend, haben einen sehr hohen Eingangswiderstand und einen kleinen Ausgangswiderstand. Man nennt sie daher auch Impedanzwandler (Widerstandswandler). Die nachfolgende Stufe ist ein invertierender Verstärker, die Verstärkung ist durch P_1 einstellbar. Beim Abgleich, den wir später besprechen, muß P_1 so eingestellt werden, daß am Ausgang 7 eine Spannung von 2,32 V anliegt, damit ein Skalenteil einer Meßspannung von 100 mV entspricht.

Neu ist die Schaltungsmethode mit P_2. Legt man an beide Eingänge eines Operationsverstärkers 0 V, ist nämlich aufgrund innerer Fehler die Ausgangsspannung verschieden von 0 V. Durch eine Gegenspannung, die man „Offsetspannung" nennt, kann dieser Fehler korrigiert werden. Die Korrektur wird mit P_2 vorgenommen.

Bevor wir uns an den Abgleich des Millivoltmeters machen, müssen wir uns noch eine Spannung bekannter Größe herstellen. Diese Schaltung zeigt Abb. 122. An der Leuchtdiode entsteht eine konstante Spannung von ca. 1,6 V. Durch den Spannungsteiler 470 Ω/470 Ω wird sie auf den halben Wert von 0,8 V geteilt.

In dem Aufbau nach Bild 123, Seite 78 (zu den

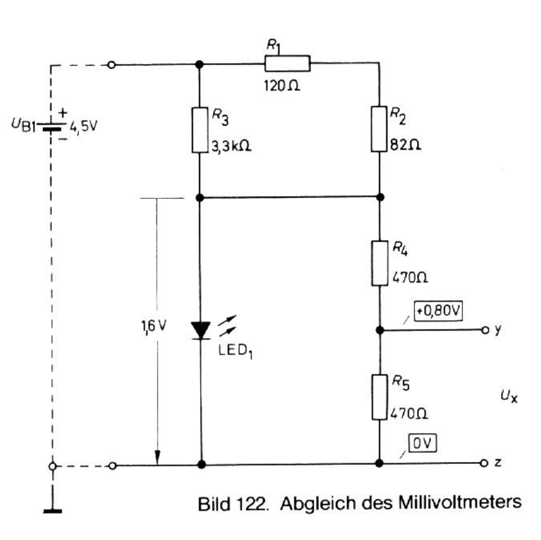


Bild 122. Abgleich des Millivoltmeters

Schaltungen 121 und 122) wird nun y der Bezugsspannungsquelle mit y des Meßinstrumentes und die Masseleitung über z verbunden.

Abgleichvorgang:

1. Kurzschlußbrücke zwischen y und z einsetzen.
2. S_1 einschalten.
3. Beim Ablesen des Instruments Taster drücken (gilt auch für alle folgenden Punkte).
4. Zeiger mit P_2 auf 0 einstellen.
5. Kurzschlußbrücke herausziehen.
6. Zeiger mit P_1 auf Teilstrich 8 der Skala einstellen.
7. Kurzschlußbrücke wieder einstecken.
8. 0-Stellung mit P_2 erforderlichenfalls nachstellen.
9. Kurzschlußbrücke herausziehen.
10. Zeiger mit P_1 auf Teilstrich 8 der Skala erforderlichenfalls nachstellen.

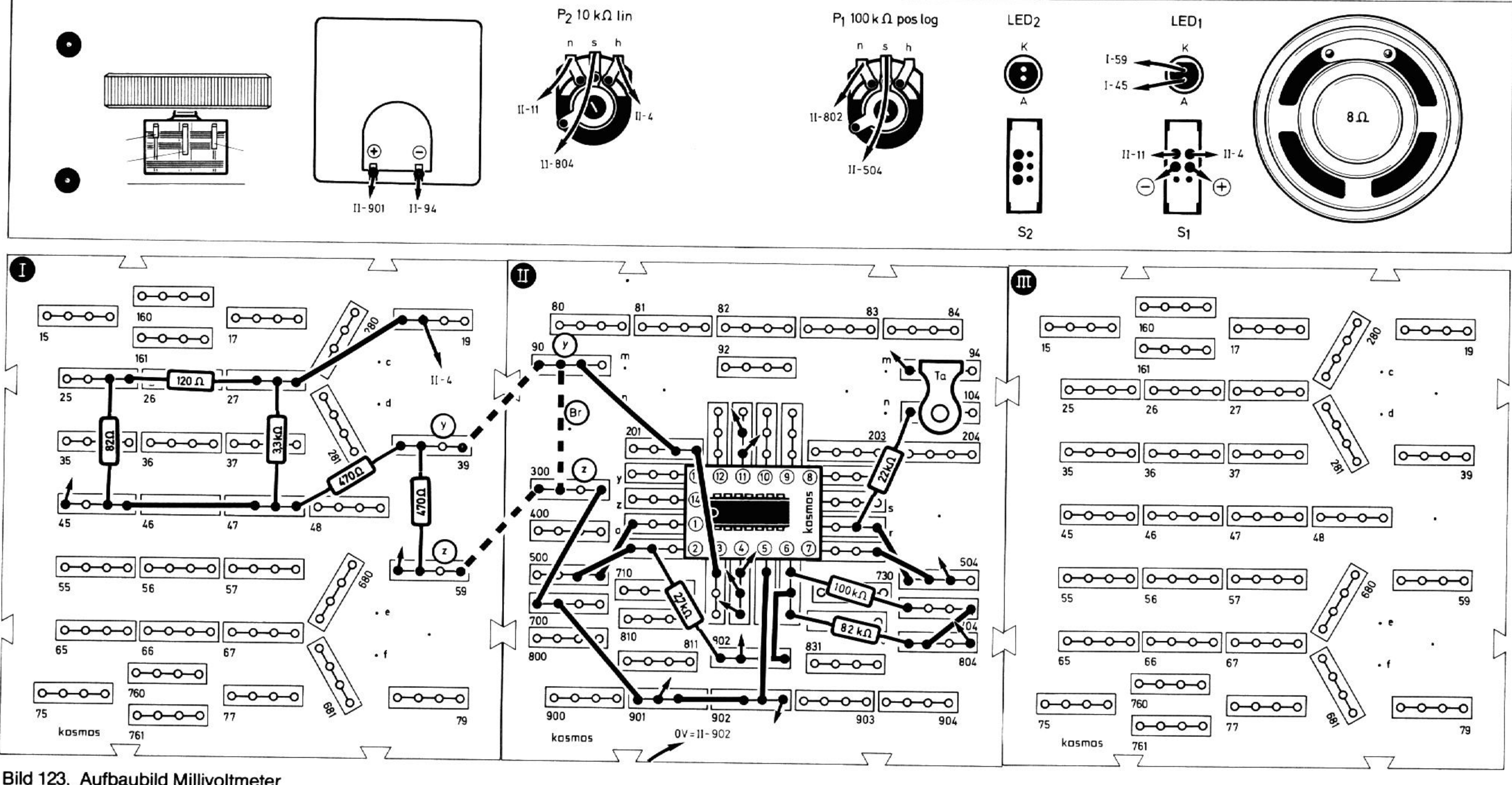


Bild 123. Aufbaubild Millivoltmeter

11. Die beiden 470-Ω-Widerstände gegeneinander vertauschen.
12. Zeigerstellung ablesen und notieren. Weicht sie von Teilstrich 8 ab, P_1 so nachstellen, daß der Zeiger zwischen der notierten Stellung und Teilstrich 8 steht.

Das Millivoltmeter ist nun abgeglichen und kann für Messungen benutzt werden.

Achtung: Da bei offenem Eingang 3 der Ausgang 7 auf Sättigungsspannung gehen kann, sollte das Anzeigeinstrument nur über den Taster zugeschaltet werden, wenn der Eingang kurzgeschlossen oder ein Meßobjekt angeschlossen ist.

Mit dem hochohmigen Millivoltmeter kann man erneut die Salzwasserbatterie ausmessen. Jetzt kann die Leerlaufspannung gemessen werden. Leer-

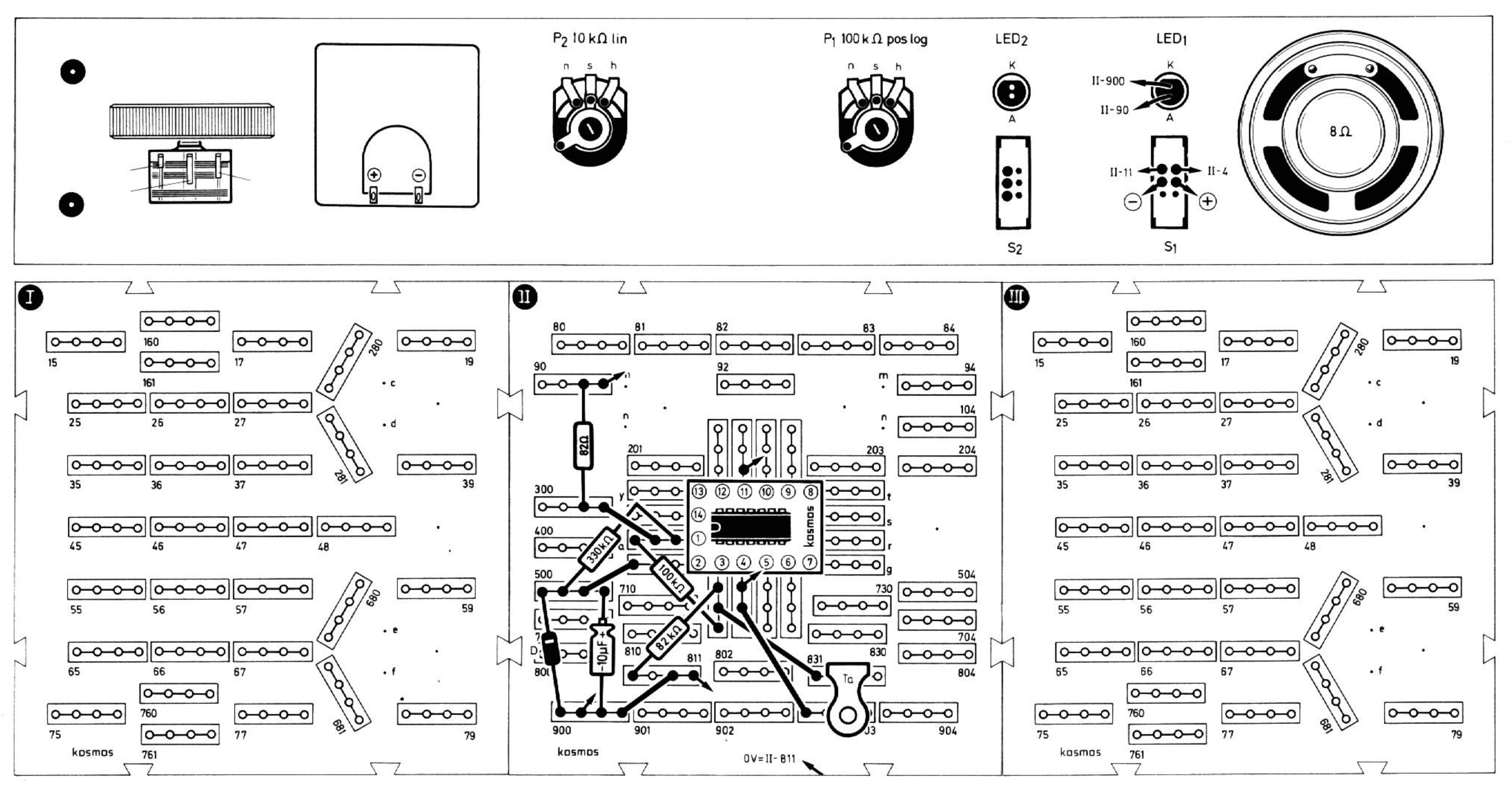


Bild 124. Aufbaubild Mono-Flop mit OP

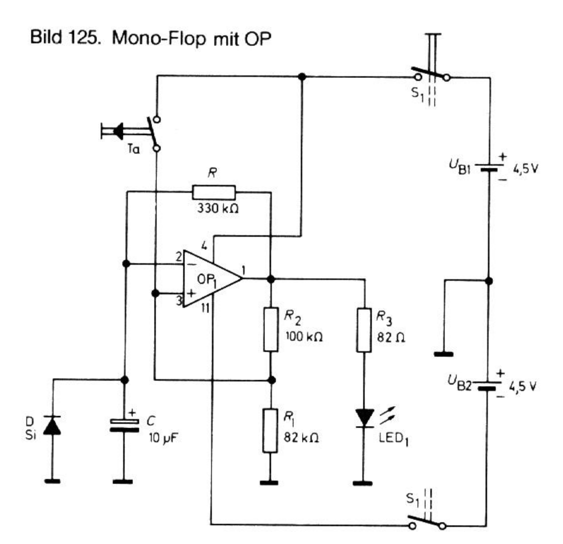
laufspannung und Klemmspannung sind fast identisch, da das Voltmeter kaum Strom entnimmt.

Es können selbstverständlich auch andere selbst hergestellte Batterien, wie z. B. die Zitronenbatterie und die „Zungenbatterie", ausgemessen werden.

19.2 Mono-Flop

Alle Transistor-Grundschaltungen lassen sich natürlich auch mit den Operationsverstärkern verwirklichen. Der Vorteil eines monostabilen Multivibrators in OP-Technik liegt darin, daß längere Verzögerungszeiten erreicht werden. Abb. 124 zeigt den Aufbau eines „Mono-Flops". Die Schaltung 125, Seite 80 arbeitet nach dem Komparatorprinzip und entspricht der bereits bekannten Schaltung eines astabilen Multivibrators mit dem Unterschied, daß eine Diode (Bein 2) eingebaut ist. Diese Diode ver-

Bild 125. Mono-Flop mit OP



hindert, daß die Spannung an Bein 2 negativ wird. Im Ruhezustand ist der Ausgang negativ, wird der Taster kurzzeitig gedrückt, so erhält Bein 3 positive Spannung und der Ausgang kippt. Die Leuchtdiode geht an. Der Kondensator beginnt nun, sich positiv aufzuladen; übersteigt die Ladespannung nur geringfügig die Spannung am Bein 3, so kippt der Ausgang in den Ruhezustand zurück. Die Leuchtdiode geht aus. Die Verzögerungszeit beträgt $T = 0{,}7 \cdot R \cdot C$, für den Fall, daß R_1 und R_2 gleich groß sind (in der Versuchsschaltung sind sie es zufälligerweise nicht!).

Wenn man die Leuchtdiode anders herum einsteckt, erhält man eine Einschaltverzögerung. Beim Drücken des Tasters erlischt dann die Leuchtdiode und geht erst wieder nach Verstreichen der Verzögerungszeit an.

Die 10fache Zeitverzögerung erreicht man, indem man den 10-µF-Kondensator durch einen 100-µF-Kondensator ersetzt.

Daß es sich bei der Schaltung tatsächlich um einen abgewandelten astabilen Multivibrator handelt, können wir feststellen, wenn man als Kondensator 100 nF einsetzt und die Diode entfernt. Jetzt blinkt die LED in schnellem Rhythmus.

19.3 Elektronisches Ampere-Meßgerät mit variabler, akustischer Überlastungsanzeige

Das Meßinstrument kann Ströme bis 1 A indirekt messen, indem von einem Strom von 1 A ein Spannungsabfall von 1,2 V an einem Widerstand von 1,2 Ω erzeugt wird.

Diese Spannung verstärken wir und messen sie.

Bild 126. Ampere-Meßgerät mit akustischer Überlastungsanzeige

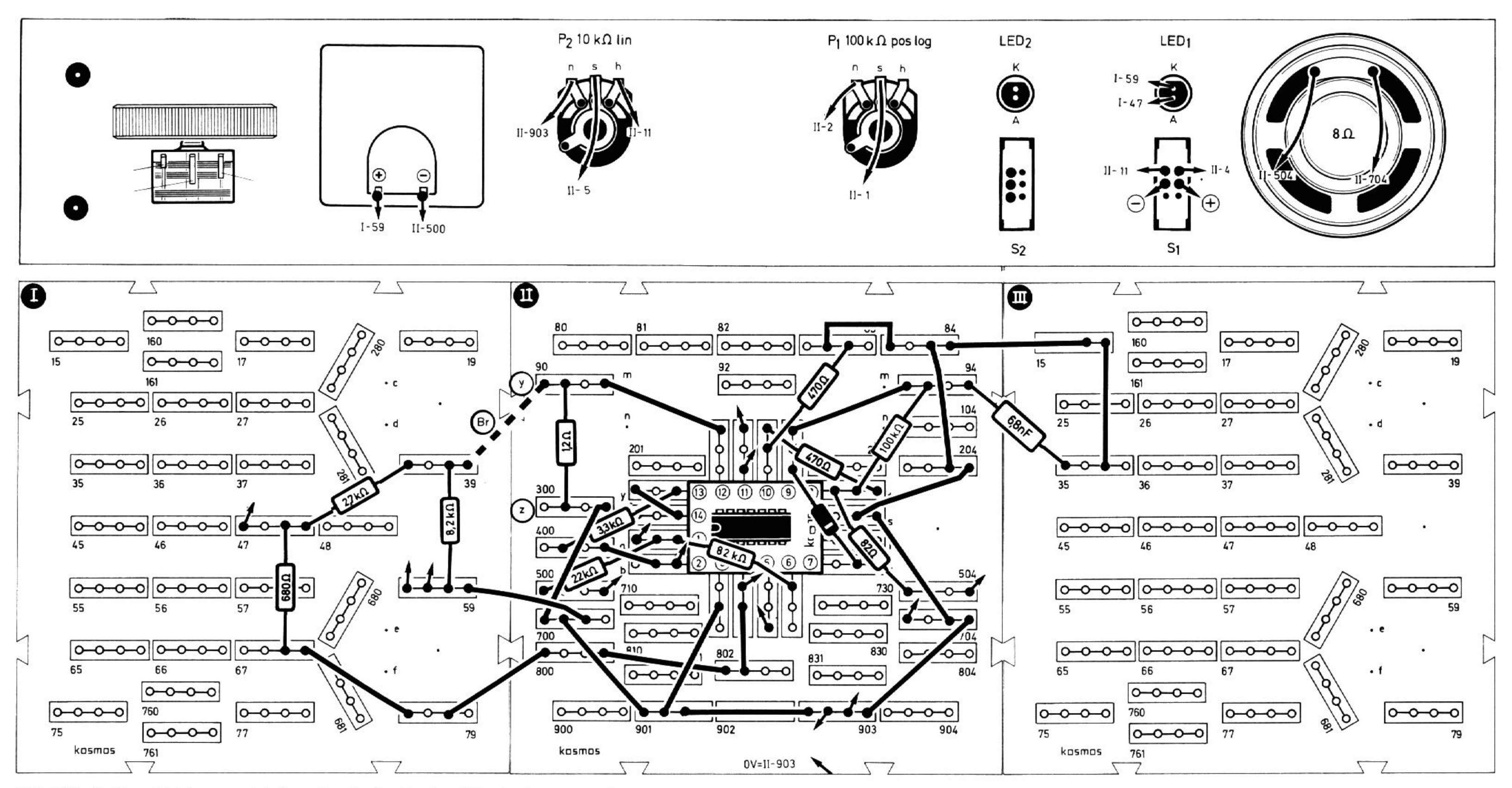


Bild 127. Aufbaubild Ampere-Meßgerät mit akustischer Überlastungsanzeige

Zunächst muß wieder ein Abgleich vorgenommen werden. Dazu stellen wir uns eine Referenzspannung von 1,2 V her.

Die konstante Spannung der LED von 1,6 V wird durch einen Spannungsteiler auf 1,2 V heruntergeteilt. Bild 127 zeigt den Aufbau des Meßgerätes nach Schaltung 126: Alle vier OPs kommen zum Einsatz. Der erste sorgt für einen hohen Eingangswiderstand, damit unsere Referenzspannungsquelle nicht belastet wird, er hat den Verstärkungsfaktor 1. Der zweite OP verstärkt die 1,2 V auf 2,32 V. Dann entspricht eine Spannung von 1,2 V am Eingang (hervorgerufen von 1 A) 10 Skalenteilen, ein Skalenteil entspricht 100 mA. Der dritte OP ist ein Komparator mit einstellbarem Schwellenwert, der vierte OP ist ein Tongenerator (astabiler Multivibrator), an dessen Ausgang ein Lautsprecher liegt.

Wird die Spannung am invertierenden Eingang des OP 3 (Komparator) größer als die durch P_2 vorgewählte Schwellenspannung, dann kippt der Komparator und gibt OP 4 frei, der Lautsprecher gibt dann einen Ton ab.

Abgleichvorgang:

Die Referenzspannungsquelle wird an den Eingang y–z angeschlossen und R_4 (1,2 Ω) zunächst herausgezogen. P_1 wird so lange verdreht, bis das Instrument Vollausschlag zeigt.

Meßvorgang: Brücke herausziehen, R_4 wieder einstecken und Stromquelle, z. B. eine zusätzliche Baby-Zelle, direkt an y und z anschließen (Pluspol an y, Minuspol an z). Das Instrument zeigt jetzt direkt den Strom in 100-mA-Schritten pro Skalenteil an. Der Schwellenwert für die Überlastungsanzeige kann an P_2 beliebig eingestellt werden.

Durch eine zweite Messung mit einem in den Meßstromkreis zusätzlich eingebrachten, bekannten Widerstand (z. B. 2 × 12 Ω parallel geschaltet) können wir jetzt den Innenwiderstand der Babyzelle ausrechnen. Eine Messung so kleiner Innenwiderstände war bisher noch nicht möglich.

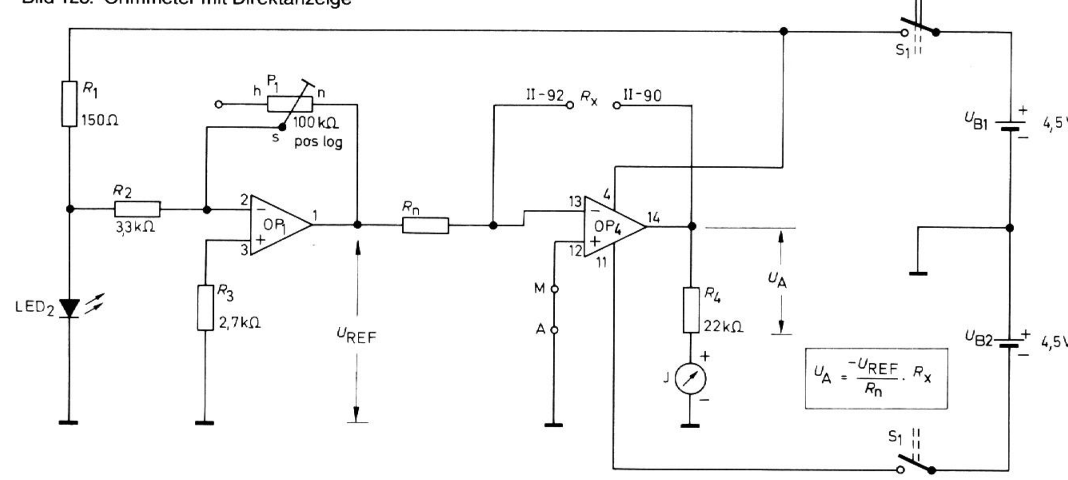
19.4 Elektronisches Ohmmeter mit Direktanzeige

Die bekannte Formel

$$V = -\frac{U_A}{U_E} = \frac{R_2}{R_1} \quad \text{(s. F 29)}$$

zeigt, daß es möglich ist, den OP für Widerstandsmessungen einzusetzen. Wenn nämlich R_1 und U_E bekannt sind, dann ist U_A ein direktes Maß für den unbekannten Widerstand R_X

Bild 128. Ohmmeter mit Direktanzeige



$$R_X = -R_1 \cdot \frac{U_A}{U_E}$$

Zwei Probleme tauchen bei der Verwirklichung einer geeigneten Meßschaltung auf:

1. Da der Ausschlag des Meßinstrumentes begrenzt ist, müssen verschiedene Meßbereiche eingestellt werden können.
2. Als U_E muß eine bekannte (und möglichst auch einstellbare) Referenzspannung vorhanden sein.

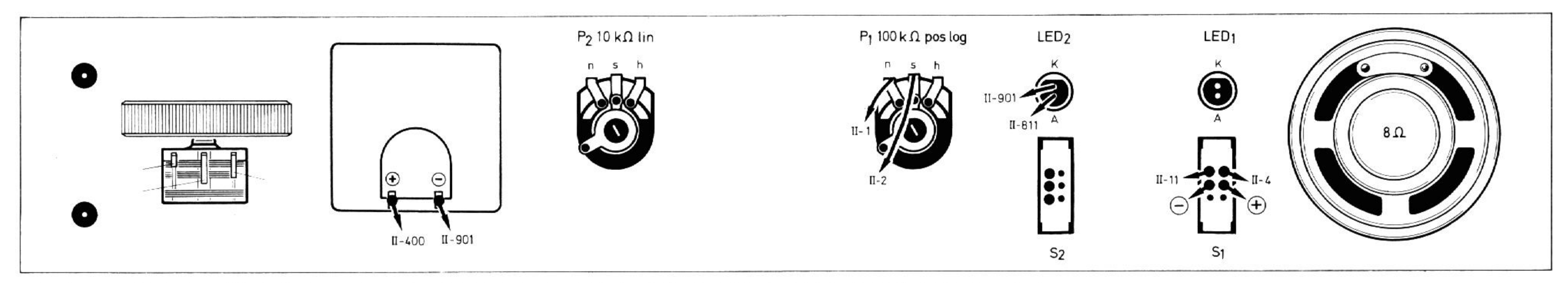
Beginnen wir bei Problem 2 und stellen uns zunächst eine Referenzspannungsquelle her, die wir als U_E benutzen können. Zum Ausgleich von Bauteiletoleranzen der Meßschaltung empfiehlt es sich, die Referenzspannungsquelle so auszulegen, daß auch „krumme" Spannungswerte eingestellt werden können. Bild 128 zeigt die Schaltung des kompletten Ohmmeters (Aufbaubild 129). OP 1 erzeugt die Referenzspannung.

Als Referenzelement dient wieder eine Leuchtdiode. Die Spannung von 1,6 V, die an ihr abfällt, wird vom OP verstärkt. Der Verstärkungsfaktor ist an P_1 einstellbar, so daß am Ausgang stabile Spannungen zwischen 0 V und Sättigungsspannung eingestellt werden können.

Betrachten wir nun die eigentliche Meßschaltung mit OP 4.

Für den Ausschlag von 10 Skalenteilen werden für das Instrument wieder 2,32 V an Ausgang 14 benötigt. OP 4 soll bei Vollausschlag mit dem Verstärkungsfaktor 10 betrieben werden. Zum Abgleich suchen wir uns Widerstandspaare heraus, die sich wie eins zu zehn verhalten.

Es empfehlen sich folgende Paare von R_n und R_x:
100 Ω und 1 kΩ (100 Ω aus 120 Ω und 470 Ω parallelgeschaltet; Parallelschaltung mit 1,2 Ω in Reihe; R_{ges} = 96,8 Ω)



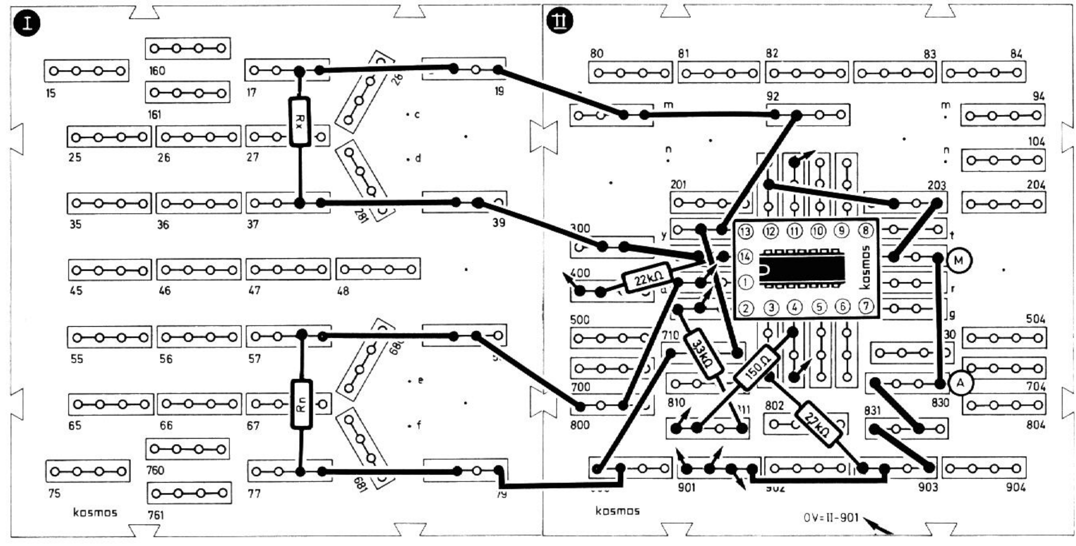


Bild 129. Aufbaubild Ohmmeter mit Direktanzeige

1 kΩ und 10 kΩ (1 kΩ aus 470 Ω und 680 Ω in Reihe geschaltet; Reihenschaltung mit 8,2 kΩ in Parallelschaltung)
10 kΩ und 100 kΩ (10 kΩ Poti als Festwiderstand. Schleifer offen lassen; 100 kΩ ist vorhanden)
100 kΩ und 1 MΩ (beide Werte vorhanden)

Zum Abgleich einer der vier möglichen Meßbereiche wird das passende Widerstandspaar eingesetzt; der größere jeweils als Rückkopplungswiderstand, dessen Wert auch angibt, bei welchem unbekannten Widerstand das Meßinstrument Vollausschlag haben soll.

Beispiel:

Am Meßinstrument sollen 10 Skalenteile 100 kΩ entsprechen. Es wird das Wertepaar 10 kΩ – 100 kΩ ausgewählt (für R_n: 10 kΩ und für R_x zum Abgleich: 100 kΩ).

Nun wird abgeglichen, indem das Poti P_1 der Referenzspannungsquelle so lange verstellt wird, bis das Instrument Vollausschlag zeigt.

Theoretisch ist U_E jetzt 0,232 V. Diese Spannung wird 10fach verstärkt, so daß am Ausgang 14 tatsächlich die geforderten 2,32 V liegen. In der Praxis wird wegen der Bauteiletoleranzen ein von 0,232 V abweichender Wert für U_E den Vollausschlag bewirken.

Ein unbekannter Widerstand R_x wird nun gemessen, indem der bekannte Abgleichwiderstand aus der Rückkopplungsleitung herausgezogen und durch den unbekannten Widerstand ersetzt wird. Das Instrument zeigt jetzt direkt Ohm oder Kiloohm an.

Beispiel:
Der Abgleichwiderstand von 100 kΩ wird herausgezogen und ein R_x eingesetzt. Das Meßinstrument

zeigt 8,2 Skalenteile an. Der Wert des unbekannten Widerstandes beträgt 82 kΩ.
Achtung! Bevor der Rückkopplungswiderstand von OP 4 herausgezogen wird, schaltet man zweckmäßig die Versorgungsspannung ab, da sonst das Meßinstrument durch Überlastung Schaden nehmen könnte!

19.5 Operationsverstärker Schmitt-Trigger

Was eine Schmitt-Trigger-Schaltung bewirkt, ist uns bereits aus Kapitel 17.6 geläufig. Der OP-Schmitt-Trigger nach Schaltung 130 ist nicht gegengekoppelt, sondern „mitgekoppelt", d. h. ein Teil seiner Ausgangsspannung ist auf den nichtinvertierenden Eingang zurückgeführt. Der Ausgang des Verstärkers ist infolgedessen stabil in der Sättigung. Da ein Schmitt-Trigger ein Hysterese-Verhalten zeigt, die zum Einschalten notwendige Eingangsspannung also größer ist als die Eingangsspannung, bei der der Schmitt-Trigger wieder abschaltet, müssen wir zum Verständnis der Funktion 2 Fälle betrachten:

1. Fall

U_E sei kleiner als U_S; dann ist der Ausgang in der positiven Sättigung. Für diesen Fall bezeichnen wir die Eingangsspannung mit U_{E+}, die Ausgangsspannung mit U_{A+} und die Spannung am Mittelpunkt der beiden Widerstände mit U_{S+}.

2. Fall

U_E sei größer als U_S; dann ist der Ausgang in der negativen Sättigung. Für diesen Fall bezeichnen wir die Eingangsspannung als U_{E-}, die Ausgangsspannung als U_{A-} und die Spannung am Mittelpunkt der Widerstände mit U_{S-}. Den Unterschied zwischen diesen beiden Eingangsspannungen, die ein Schalten des Schmitt-Triggers bewirken, nennen wir ΔU_E.

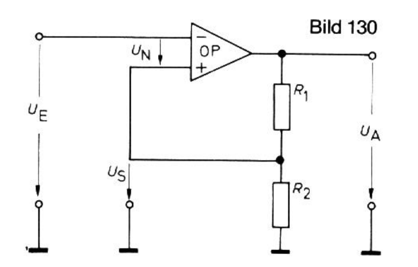


Bild 130

Für Fall 1 wenden wir nun Formel 24 an und erhalten

$$U_{S+} : U_{A+} = R_2 : (R_1 + R_2) \quad \text{(a)}$$

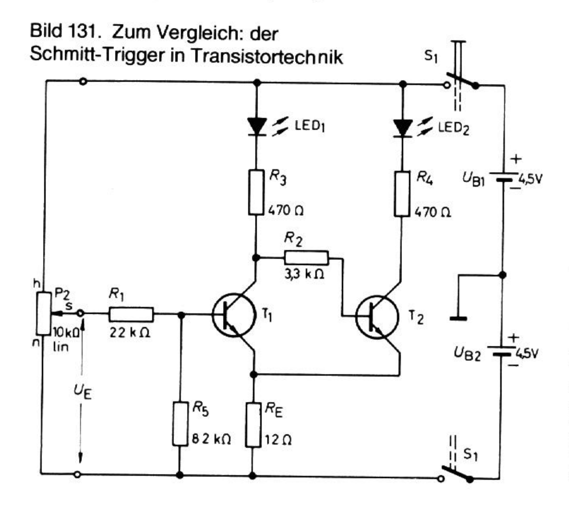
Dieselbe Formel auf Fall 2 angewandt, ergibt

$$U_{S-} : U_{A-} = R_2 : (R_1 + R_2) \quad \text{(b)}$$

Um herauszufinden, welche Werte wir für R_1 und R_2 wählen müssen, um ein bestimmtes Schaltverhalten zu erreichen, ziehen wir Gleichung (b) von Gleichung (a) ab und erhalten nach Umformung

$$U_{S+} - U_{S-} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} (U_{A+} - U_{A-}) \quad \text{(F31)}$$

Bild 131. Zum Vergleich: der Schmitt-Trigger in Transistortechnik



Da der Schmitt-Trigger immer dann schaltet, wenn $U_{S+} = U_{E+}$ bzw. $U_{S-} = U_{E-}$ ist, geht Formel 31 über in:

$$U_{E+} - U_{E-} = \Delta U_E = \frac{R_2}{R_1 + R_2} (U_{A+} - U_{A-}) \quad \text{(c)}$$

Gleichung (c) kann man nun ohne große Mühe so umformen, daß man eine Beziehung für die Widerstände R_1 und R_2 erhält.

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{\Delta U_E}{(U_{A+} - U_{A-}) - \Delta U_E} \quad \text{(F32)}$$

Beispiel: Der Schmitt-Trigger soll bei +1 V einschalten und bei −1 V wieder abschalten. Die positive Sättigungsspannung sei +4 V, die negative Sättigungsspannung sei −4 V.

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{2\,V}{4\,V - (-4\,V) - 2\,V} = 0{,}33$$

Wir könnten R_1 zu 10 kΩ wählen und würden für R_2 3,3 kΩ erhalten.

20. Rechenschaltungen mit Operationsverstärkern

Es wurde bislang verschwiegen, wie der Operationsverstärker zu seinem vornehmen Namen gekommen ist, da er doch eigentlich „nur" ein Verstärker ist.

Wie die meisten guten Erfindungen, so wurde auch der OP aus einer Not heraus geboren: Er wurde entwickelt, weil man geeignete temperaturunempfindliche Verstärker für Rechenoperationen wie Addieren, Multiplizieren, Logarithmieren usw. brauchte. Mit diesen Rechenverstärkern kann man sogenannte Analogrechner bauen. Sie haben mit ihren entfernten Verwandten, den Digitalrechnern (allgemein Computer genannt) nur eines gemeinsam: beide können rechnen.

Ein Wort zu den Begriffen digital und analog:

Eine Zeitanzeige mit Ziffern, die von Minute zu Minute weitergeschaltet werden, ist eine Digitalanzeige.

Eine Zeigeruhr, auf der auch Zwischenwerte, also halbe und evtl. sogar viertel Minuten abgelesen werden können, hat eine Analoganzeige.

Im folgenden werden „Rechenschaltungen" beschrieben. Wie man auch im Rahmen unserer Möglichkeiten damit rechnen kann, zeigen einige praktisch anwendbare Schaltungen im Teil II dieses Experimentierbuches.

20.1 Der Addierer

Die Grundschaltung eines Summierers oder Addierers zeigt Bild 132. Unter Berücksichtigung, daß U_N so klein ist, daß man es zu 0 annehmen kann, folgt mit der Kirchhoffschen Maschenregel:

1) $-U_1 + I_1 \cdot R = 0$ oder: $U_1 = I_1 \cdot R$
   (Masche: Masse–E_1–K–Masse)
2) $-U_2 + I_2 \cdot R = 0$ oder: $U_2 = I_2 \cdot R$
   (Masche: Masse–E_2–K–Masse)
3) $-U_A - (I_2 + I_1) \cdot R = 0$
   oder: $-U_A = (I_1 + I_2) \cdot R$
   (Masche: Masse–A–K–Masse)

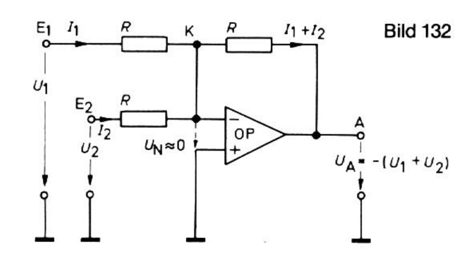


Bild 132

Addiert man 1) und 2), so folgt:

$$U_1 + U_2 = R \cdot (I_1 + I_2)$$

Dies in 3) eingesetzt:

$$U_1 + U_2 = -U_A \qquad \text{(F33)}$$

Da der OP invertiert, erhalten wir die Summe mit negativem Vorzeichen. Das ist nicht störend, da uns nur der Zahlenbetrag interessiert. Mißt man die Spannung am Ausgang, so ist das Meßinstrument umzupolen.

20.2 Der Subtrahierer

Die Wirkungsweise eines Subtrahierers (Abb. 133) ist sehr leicht zu verstehen, wenn man beachtet, daß hier der nicht invertierende Eingang nicht auf Masse liegt, die Spannung zwischen den Eingängen jedoch wieder zu 0 angenommen werden kann.

Wir wenden dreimal die Kirchhoffsche Maschenregel an und erhalten folgende Beziehungen:

1) $-U_1 + I_1 \cdot R + I_2 \cdot R = 0$
   (Masche: Masse–E_1–K–K*–Masse)

2) $-U_2 + I_2 \cdot R + I_2 \cdot R = 0$
   (Masche: Masse–E_2–K*–Masse)

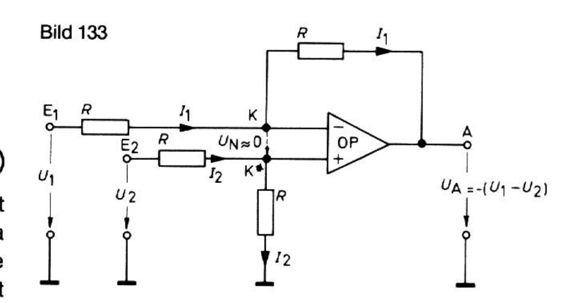
3) $-U_A - I_1 \cdot R + I_2 \cdot R = 0$
   (Masche: Masse–A–K–K*–Masse)

Wenn man diese Gleichungen ein bißchen „mischt", erhält man

$$U_1 - U_2 = -U_A \qquad \text{(F34)}$$

Die Differenz hat ein negatives Vorzeichen, da der OP invertiert.

Bild 133



20.3 Der Integrierer

Integrieren ist wie Multiplizieren und Addieren eine Rechenoperation. Auf die mathematische Darstellung und auf die Bedeutung dieser Rechenmethode kann hier nicht eingegangen werden. Wir werden allerdings beschreiben, wie eine Integrierschaltung aussieht, wie sie funktioniert und wozu man sie benutzen kann.

Abb. 134 zeigt die Schaltung eines einfachen Integrierers. Der OP ist nicht mit einem Widerstand, sondern mit einem Kondensator gegengekoppelt. Dieser bewirkt, daß die Ausgangsspannung nicht konstant bleibt, sondern sich mit fortschreitender Zeit ändert, selbst wenn die Eingangsspannung U_E

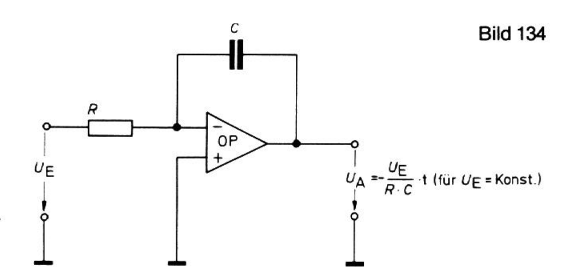


Bild 134

gleichgroß bleibt. Wenn U_E klein ist, so steigt die Spannung U_A langsam, ist U_E groß, so steigt U_A schnell. Natürlich kann auch hierbei die Spannung U_A nie größer werden als die Sättigungsspannung des Operationsverstärkers.

Für den betrachteten Fall einer konstanten Eingangsspannung ist folgende bereits fertig ausgerechnete Formel gültig:

$$U_A = -\frac{1}{R \cdot C} \cdot U_E \cdot t \qquad \text{(F35)}$$

Das Minuszeichen deutet an, daß U_A „negativ steigt", in Wirklichkeit also absinkt.

Mathematisch Versierte sehen auf einen Blick, daß die Anstiegsgeschwindigkeit von U_A nicht nur von dem vorgewählten Wert für U_E, sondern auch von der Kapazität C und dem Widerstand R abhängt.

Integrierer sind überall dort nützlich, wo man eine gleichmäßig anwachsende Spannung benötigt. Praktische Beispiele dafür sind im Teil II des Experimentierbuches angegeben.

21. Grundlagen von Wechselgrößen

21.1 Wechselspannung: läßt Elektronen zittern

Eine Spannung, die in regelmäßigen Zeitabständen ihre Polarität wechselt, heißt Wechselspannung. Würde man die Anschlüsse einer Batterie ständig gegeneinander vertauschen, dann würde im angeschlossenen Stromkreis ein Wechselstrom fließen. Eine Wechselspannung ändert andauernd ihre Polarität, Wechselstrom ändert fortlaufend seine Richtung. Es kommt daher nicht zu einer stetigen Elektronenwanderung in eine Richtung, sondern zu einer Hin- und Herbewegung um die Ruhelage im Leiter.

Bei unseren bisher durchgeführten Experimenten haben wir bereits mit Wechselspannungen und -strömen Bekanntschaft gemacht, ohne es gemerkt zu haben.

Der astabile Multivibrator z. B. ist ein Wechselspannungsgenerator: Der Ausgang des Operationsverstärkers ändert fortwährend seine Polarität, indem er zwischen positiven und negativen Sättigungswerten hin- und herpendelt. Beim Doppelwarnblinker zeigen die LEDs regelrecht das Ändern des Stromes an. Wenn LED_1 brennt, fließt aus dem Operationsverstärkerausgang ein Strom heraus, leuchtet LED_2, fließt ein Strom in den OP hinein.

Betrachten wir den Ausgang des Operationsverstärkers im Warnblinker unter der Zeitlupe: Beim Einschalten der Versorgungsspannung sei die Ausgangsspannung positiv, nach 0,5 Sekunden kippt der Ausgang in die negative Sättigung. Nach der nächsten halben Sekunde wechselt er erneut zur positiven Spannung, usw. Diese Vorgänge lassen sich gut in einem Spannungs-Zeitdiagramm darstellen (Bild 135).

Auf der senkrechten Achse sind nach oben positive, nach unten negative Spannungen aufgetragen. Auf der waagerechten Skala sind Abschnitte von je 0,5 Sekunden eingezeichnet.

Ein solches Diagramm zeigt die Kurvenform der Wechselspannung. In unserem Falle handelt es sich um eine Rechteckspannung.

Für die Beschreibung des Kurvenverlaufs verwendet man bestimmte Fachausdrücke, die wir kurz erläutern wollen.

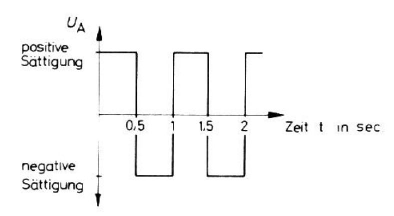


Bild 135. Zeitlicher Verlauf einer Rechteck-Wechselspannung

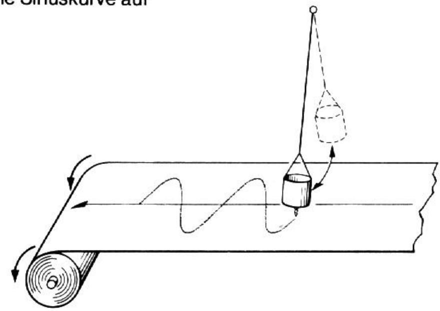
Die Entfernung eines Kurvenpunktes von der Zeitachse, man spricht auch von Auslenkung, nennt man Amplitude. Es gibt negative und positive Amplituden. In unserem Beispiel sind die maximalen Amplituden gleich den Sättigungsspannungen des OP.

Kurven, die nach einer bestimmten Zeit T immer wieder denselben Verlauf zeigen, heißen periodisch. Die Zeit T wird als Periode und ihr Kehrwert als Frequenz f bezeichnet.

$$f = \frac{1}{T} \qquad \text{(F36)}$$

Wenn man T in Sekunden mißt, so wird die Fre-

Bild 136. Ein hin- und herschwingendes Pendel zeichnet eine Sinuskurve auf



quenz in Hertz (Hz) angegeben (siehe auch Kapitel 9.3).

In Bild 135 ist die Periode T eine Sekunde und entsprechend die Frequenz $f = 1$ Hz.

Eine Sonderstellung unter periodischen Kurven nimmt die Sinuskurve ein. Wie man sich das Zustandekommen einer Sinuskurve vorstellen kann, zeigt Abbildung 136.

Technisch hat vorwiegend der sinusförmige Kurvenverlauf Bedeutung. Generatoren z. B., die unser Lichtnetz speisen, erzeugen Sinusspannungen. Die Wechselspannung in der Steckdose beträgt 220 V und hat eine Frequenz von 50 Hz.

21.2 Wechselströme am Werk

Für einen Widerstand ist es gleichgültig, ob er von Wechsel- oder Gleichstrom durchflossen wird: In beiden Fällen wird elektrische Energie in Wärme umgesetzt. Ganz anders liegen die Dinge beim Kondensator, dessen Eigenschaften in Kapitel 8 besprochen wurden. Er ist für Gleichstrom undurchlässig, setzt einem Wechselstrom jedoch nur einen geringen Widerstand entgegen. Der nächste Versuch zeigt, daß dies tatsächlich der Fall ist.

Der linke Teil von Schaltbild 137 (Aufbaubild 138, Seite 88) zeigt einen Tongenerator, der eine Wechselspannung erzeugt. Für unser Experiment ist Schalter 2 zunächst nach unten zu schalten. Die Wechselspannung wird dann über die Brücke (am Kondensator vorbei) dem Lautsprecher zugeführt: Nach Einschalten der Batteriespannung wird ein Ton hörbar, dessen Höhe durch das Potentiometer verstellbar ist (die Frequenz der Wechselspannung wird verändert).

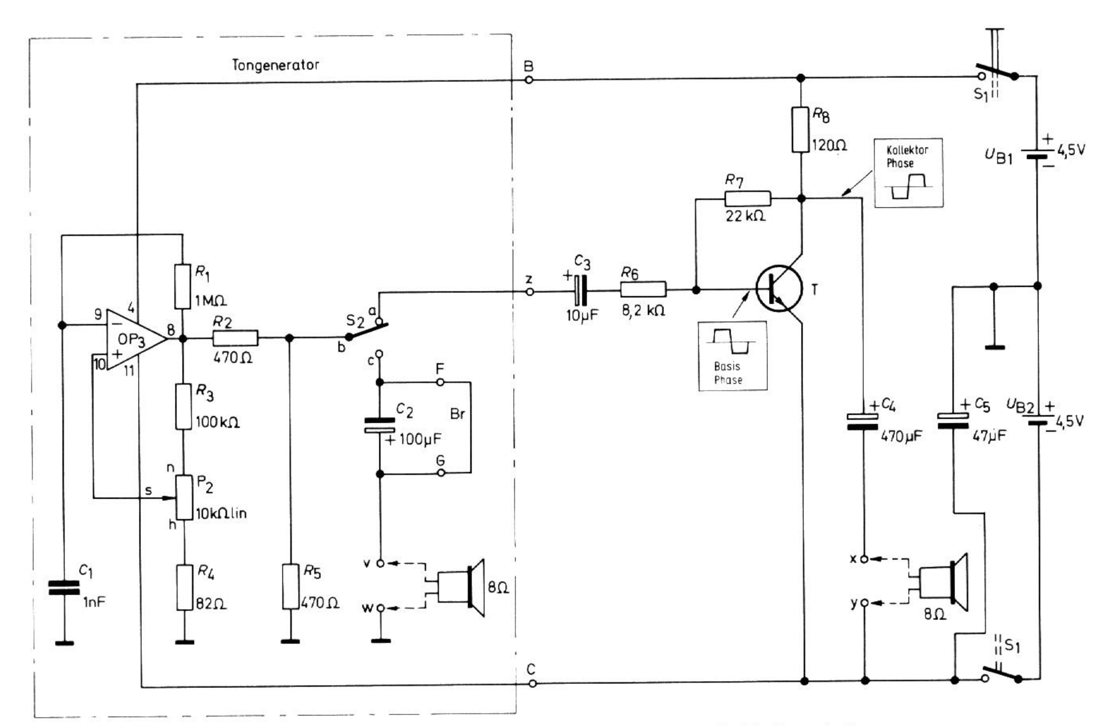


Bild 137. Tongenerator; Überprüfung der kapazitiven Kopplung; Transistorpraxis: Emitterschaltung

Der Ton bleibt als hörbares Zeichen für die Durchlässigkeit des Kondensators für den Wechselstrom bestehen, auch wenn die Brücke herausgezogen wird. Da der Wechselstrom fortlaufend seine Richtung ändert, wird der Kondensator ständig umgeladen. An beiden Platten fließen also abwechselnd Elektronen zu und ab, sie bewegen sich dabei in der Frequenz des Wechselstromes hin und her, so wie die Elektronen in den Leitungen und Widerständen. Der Kondensator ist also für einen Wechselstrom kein grundsätzliches Hindernis. Trotzdem fällt am Kondensator eine (Wechsel-)Spannung ab. Sein Wechselstromwiderstand wird mit höherer Frequenz kleiner. Auch der Kapazitätswert wirkt sich auf den Wechselstromwiderstand aus: Eine große Kapazität bewirkt einen kleinen Widerstand und umgekehrt. Das unterschiedliche Verhalten des Kondensators gegenüber Gleich- und Wechselspannungen benutzt man, um Gleich- und Wechselspannung bzw. -ströme zu entkoppeln,

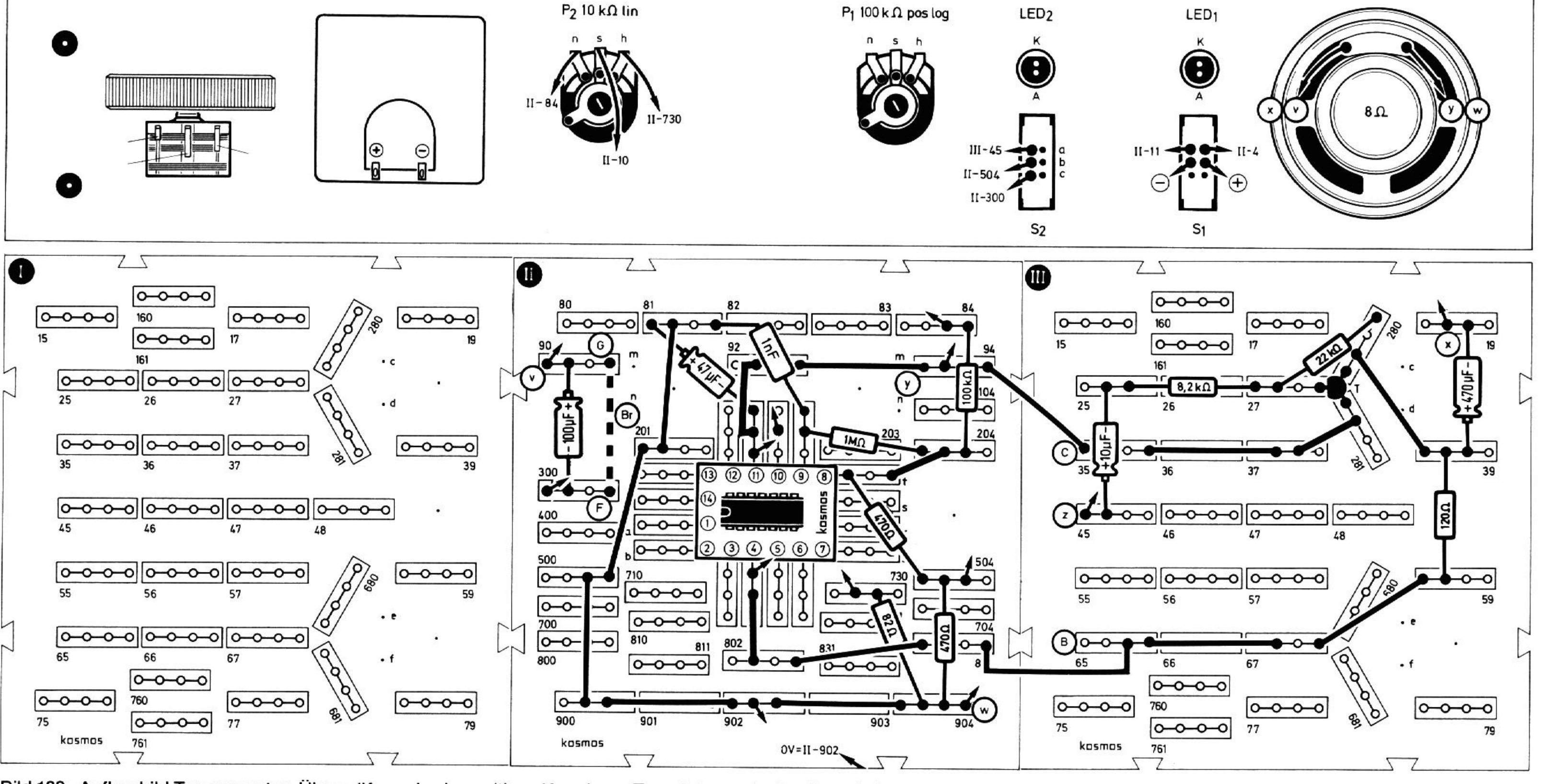


Bild 138. Aufbaubild Tongenerator; Überprüfung der kapazitiven Kopplung; Transistorpraxis: Emitterschaltung.

d. h. voneinander zu trennen. Eine Verbindung von Schaltungsteilen über einen Kondensator nennt man auch kapazitive Kopplung.
(Eine direkte Leitungsverbindung heißt galvanische Kopplung, eine Signalübertragung mittels Spulen nennt man induktive Kopplung).

22. Transistor-Praxis – Teil 2

22.1 Transistor-Verstärker, auch für Wechselspannungen

Wenden wir uns nun der rechten Seite des Schaltbildes 137 zu. Dieser Teil kann durch Umschalten von S_2 über den Kondensator C_3 an den Tongenerator angekoppelt werden. Wird der Lautsprecher an x und y angeschlossen, ertönt das Tonsignal wesentlich lauter (als im vorhergehenden Versuch). Es handelt sich um einen Wechselspannungsver-

stärker. Der Transistor, unser Verstärkerelement, erhöht die Amplitude des an der Basis eintreffenden Wechselspannungssignals. Beim Verstärken einer Wechselspannung muß natürlich sowohl die positive als auch die negative „Halbwelle" verstärkt werden. Damit dieses gewährleistet ist, muß der Arbeitspunkt des Transistors (Abb. 105) so gewählt werden, daß der Transistor auch bei hohen Amplituden weder in die Sättigung geht noch sperrt. Er könnte sonst die oberen Teile der einen oder anderen Halbwelle „abschneiden". Für den richtigen Arbeitspunkt sorgen die Widerstände R_7 und R_8.

Auch ohne angekoppelte Wechselspannung fließt bei dieser Beschaltung durch den Transistor ein Strom. Allerdings ein Gleichstrom. Dieser Ruhegleichstrom wird am kapazitiv angekoppelten Lautsprecher natürlich nicht wirksam. Ein Verstärker mit einer solchen Ruhestromversorgung heißt A-Verstärker (R_7 hat in unserem Aufbau noch eine zusätzliche Funktion als Gegenkopplungswiderstand; er kompensiert unerwünschte Temperatureffekte).

Das verstärkte Signal wird vom Kollektor über den Kondensator C_4 dem Lautsprecher zugeführt, während der Emitter direkt mit der Batterie verbunden ist. Man bezeichnet diese Schaltungsart des Transistors deshalb auch als Emitterschaltung. Wächst bei einer Emitterschaltung das Basissignal in positiver Richtung, so fällt das verstärkte Kollektorsignal gegen negative Werte (oder umgekehrt); der Fachmann sagt: Basissignal und Kollektorsignal sind zueinander gegenphasig.

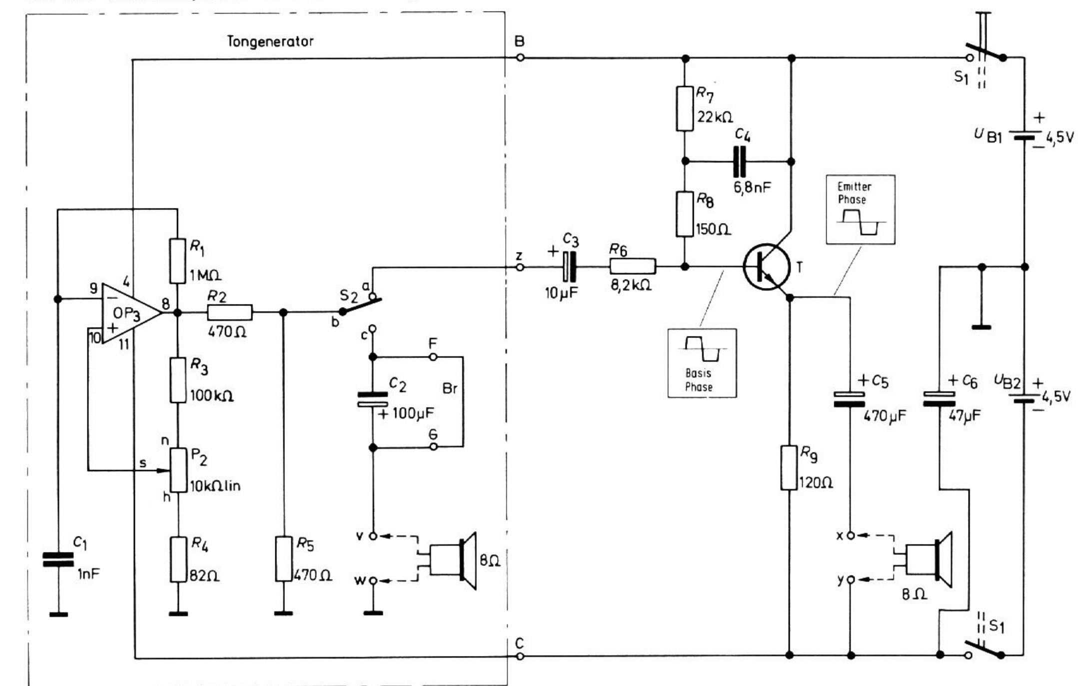
Eine Schaltung, bei der Basis- und Kollektorsignal gleichphasig sind, wird im nächsten Experiment vorgeführt. In Schaltung 139 (Aufbaubild 140, Seite 90) wird der Transistor in Kollektorschaltung betrieben, es ist also der Kollektor direkt mit der Batterie verbunden. Die Kollektorschaltung wird auch als Emitterfolger bezeichnet.

Es gibt noch eine dritte mögliche Schaltungsart, die Basisschaltung (Basis direkt an Batterie).

Vor- und Nachteile aller drei Schaltungsarten sind in der Tabelle 7 im nächsten Kapitel zusammengestellt.

Eine Variante der Emitterschaltung zeigt Abb. 142, Seite 92 (Aufbaubild 141, Seite 91). Der Emitterstrom von T_1 fließt direkt in die Basis von T_2; eine solche Anordnung von Transistoren nennt man Darlington-Schaltung. Mit einer Darlington-Schaltung kann eine sehr hohe Verstärkung erreicht werden. Eine zusätzliche Abwechslung bietet bei diesem Schaltungsaufbau der Tongenerator im linken Teil. Der Operationsverstärker erzeugt hier eine fast sinusförmige Wechselspannung. Mit dem Potentiometer P_1 kann in dieser Schaltung zusätzlich die Lautstärke geregelt werden.

Bild 139. Transistorpraxis: Kollektorschaltung



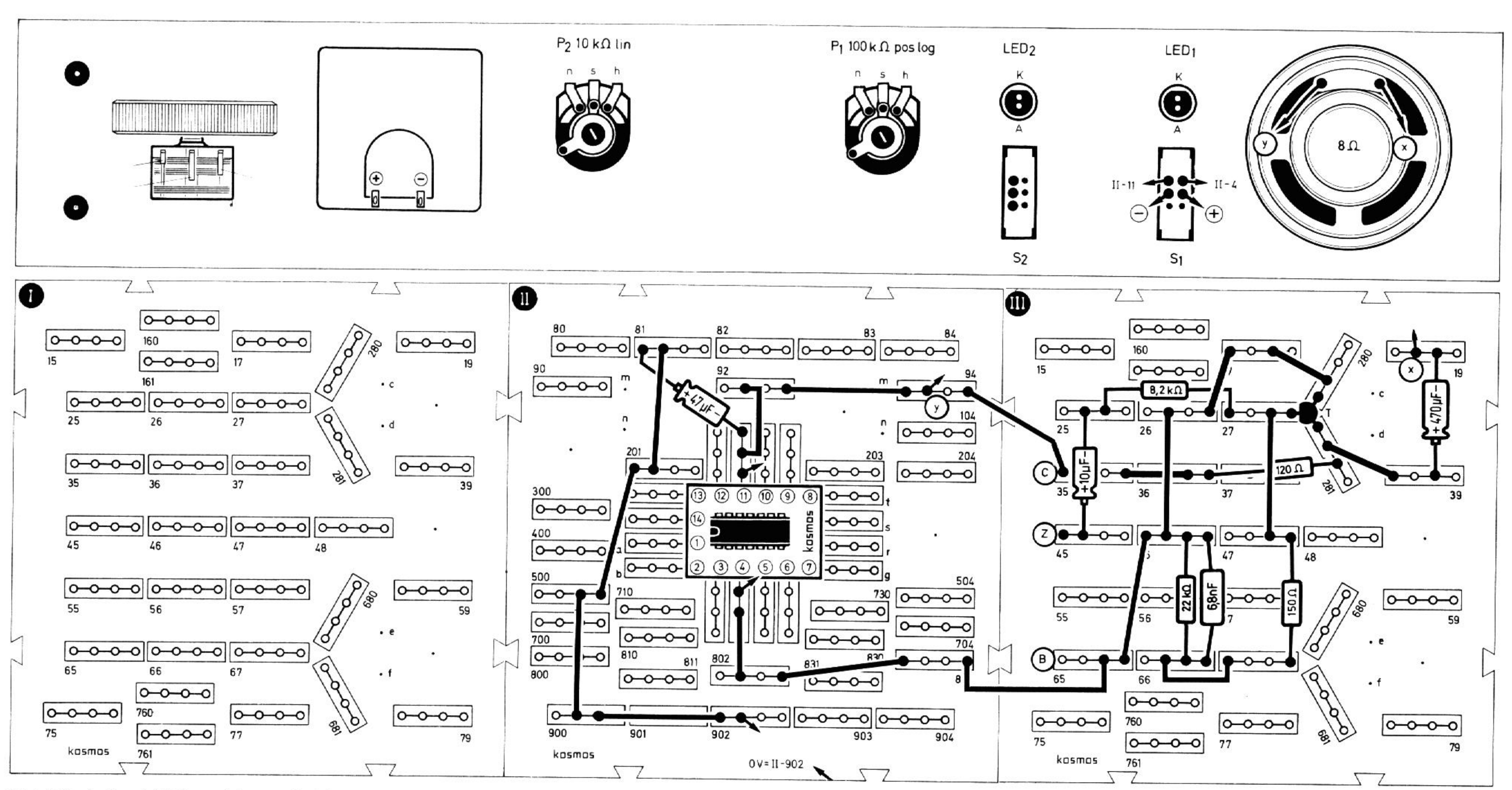


Bild 140. Aufbaubild Transistorpraxis: Kollektorschaltung

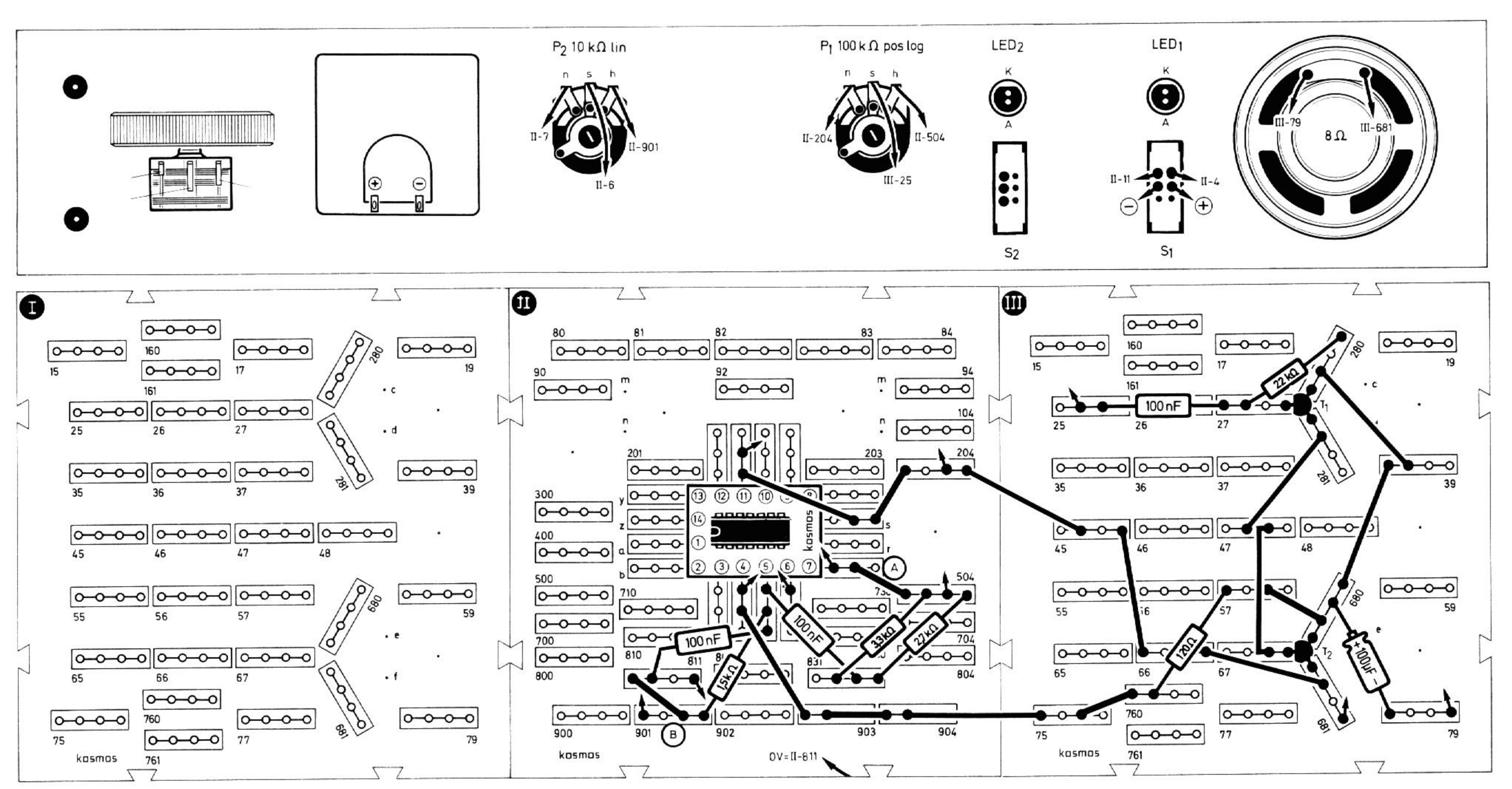


Bild 141. Aufbaubild Transistorpraxis: Darlington-Verstärker

Bild 142. Transistorpraxis: Darlington-Verstärker

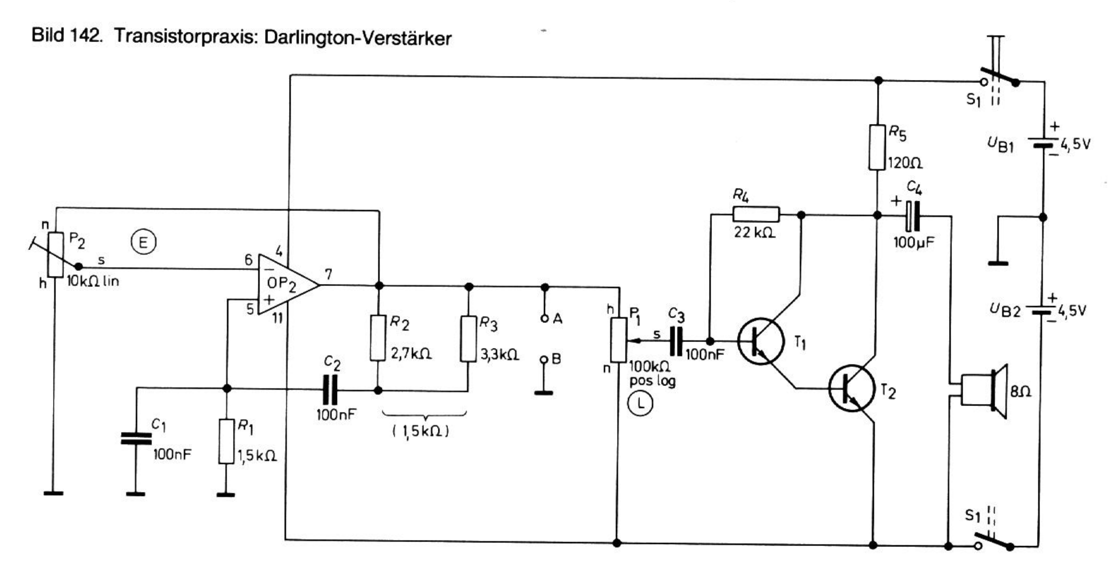


Bild 142 a. Transistorgrundschaltungen

22.2 Eine Zwischenbilanz: Schaltungsvergleiche

Tabelle 7 enthält die wichtigsten Eigenschaften der bereits genannten Transistorgrundschaltungen.

Tabelle 7: Eigenschaften von Transistor-Grundschaltungen

Schaltungsart	Eingangswiderstand	Ausgangswiderstand	Spannungsverstärkung
I Emitterschaltung	mittelgroß (ca. 3 kΩ)	mittelgroß (ca. 50 kΩ)	groß, gegenphasig
II Basisschaltung	sehr klein (ca. 50 Ω)	sehr groß	sehr groß, gleichphasig
III Kollektorschaltung (Emitterfolger)	sehr groß (abhängig von Verstärkung und Lastwiderstand)	sehr klein (ca. 50 Ω)	kleiner oder gleich eins, gleichphasig

23. Magnetismus und Induktion

23.1 Magnetische Fernwirkungen

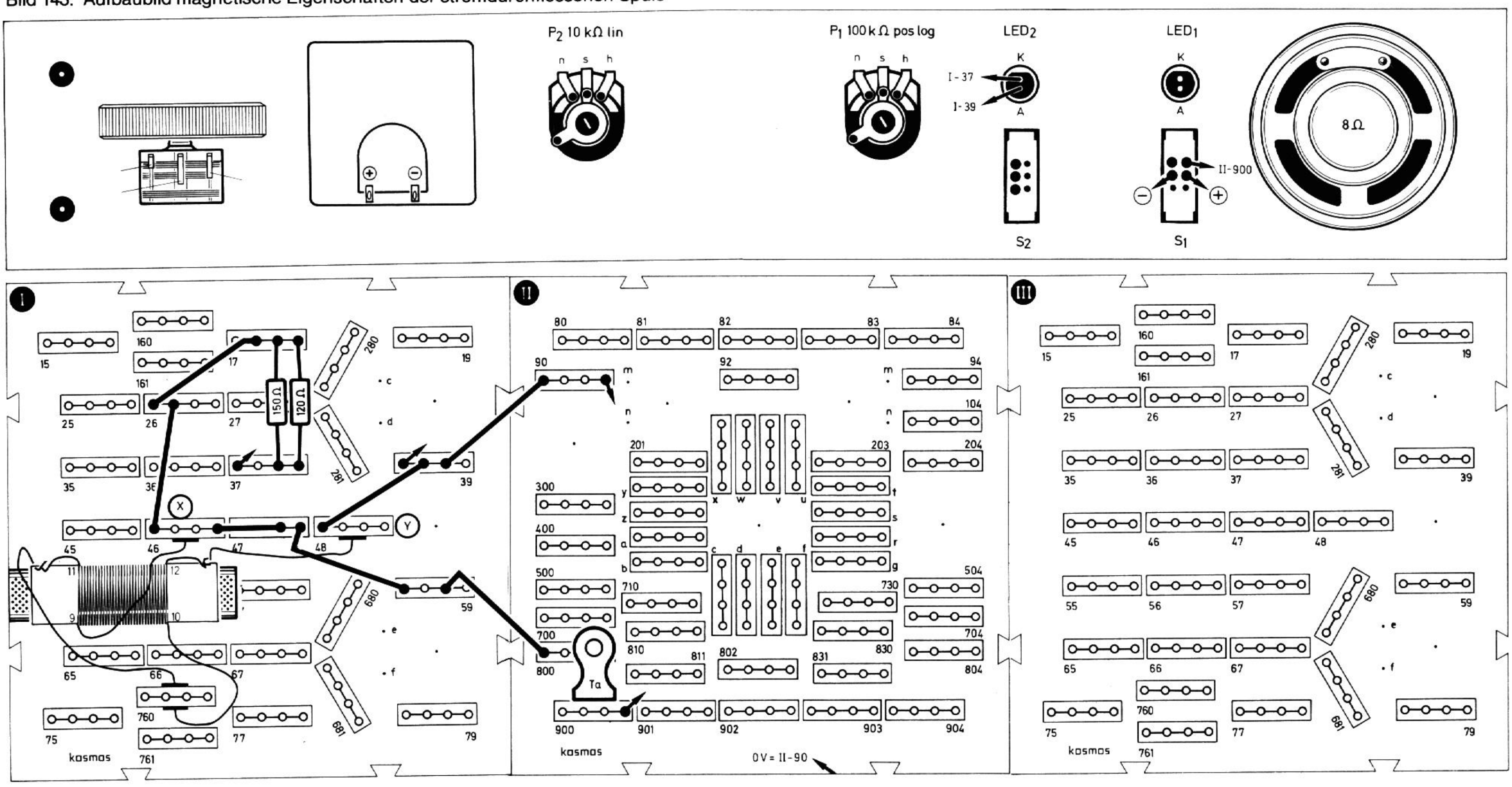
Auf einer Kreuzfahrt zur südlichen Halbkugel wird anläßlich der Äquatortaufe gelegentlich ein Fernglas gereicht, durch das man „den Äquator sehen" kann. Die Illusion, eine gedachte Linie sichtbar zu machen, wird hier durch ein Haar im Linsensystem hervorgerufen. Auch wir werden – spätestens bei der Beschäftigung mit der Rundfunktechnik ein paar Kapitel weiter – mit gedachten Linien zu tun bekommen, die Eigenschaften des uns umgebenden Raumes beschreiben sollen, für die wir keine Sinnesorgane haben.

Wenn wir einen Stein aufheben und loslassen, fällt er zu Boden, weil der uns umgebende Raum mit einem „Schwerefeld" durchsetzt ist; wenn wir ein Polystyrol-Lineal reiben (vgl. Bild 21), zieht es Papierschnitzel an, weil seine Umgebung mit einem „elektrischen Feld" durchsetzt ist, und ein Elektromagnet zieht Eisenstücke an, weil seine Umgebung mit einem Magnetfeld durchsetzt ist. All diese für uns unsichtbaren Felder werden, wenn ihre Wirkung veranschaulicht werden soll, durch sogenannte „Feldlinien" dargestellt, die Richtung und Dichte des jeweiligen Zustandes verdeutlichen. Weil diese Felder als Fernwirkung von Kräften aufgefaßt werden können, nennt man die Feldlinien auch oft „Kraftlinien". Wirkungen von elektrischen Feldkräften hatten wir bereits im Kapitel 8.1 über den Kondensator kennengelernt.

Im Augenblick wollen wir uns mit dem Magnetfeld einer stromdurchflossenen Spule beschäftigen. Auf die Kraftlinien kommen wir später zurück. Wir wikkeln die Trafo-Spule, wie in Teil III, Kapitel 69, ange-

geben ist. Auf Bild 144, Seite 94, sehen wir, daß ihre beiden Wicklungen L_D und L_E hintereinandergeschaltet sind. Sie bilden also eine zwischen x und y geschaltete Gesamtspule mit 270 Windungen.
Wir bauen die Schaltung nach Bild 143 auf und schalten S_1 ein. Dann halten wir das schmale Ende des Universalschlüssels lose ca. 1 mm neben den aus der Spule herausragenden Ferritkern. Sobald wir den Taster drücken, klappert der Schlüssel gegen den Ferritkern, weil er angezogen wird (Taster nur kurz drücken, um die Batterie zu schonen).
Zwar ist die Anziehungskraft bei diesem Versuch nur schwach, beweist aber, daß eine stromdurchflossene Spule von einem Magnetfeld umgeben ist. Das ist uns nicht neu: Bei der Funktionsbeschreibung des Meßinstrumentes wurde diese Tatsache bereits erwähnt.
Ein stromdurchflossener Leiter ist von einem Ma-

Bild 143. Aufbaubild magnetische Eigenschaften der stromdurchflossenen Spule



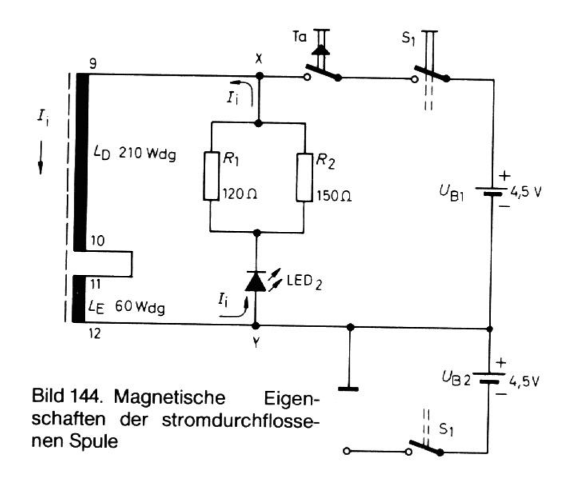


Bild 144. Magnetische Eigenschaften der stromdurchflossenen Spule

gnetfeld umgeben, das stärker wird und sich ausdehnt, solange die Stromstärke erhöht wird, und schrumpft, wenn die Stromstärke abnimmt. Werden zwei dicht benachbarte Drähte in derselben Richtung vom Strom durchflossen, so vereinigen sich ihre Magnetfelder zu einem entsprechend stärkeren Gesamt-Magnetfeld.

Und nun kommt der Trick mit der Spule: Wickelt man einen Draht auf, so liegen die einzelnen Windungen nebeneinander und werden auch in derselben Richtung von Strom durchflossen. Daß es eigentlich derselbe Strom ist, der gleichzeitig in verschiedenen Abschnitten desselben zur Spule gerollten Drahtes fließt, spielt keine Rolle. Das magnetische Feld einer Spule mit vielen Windungen ist also stärker als das einer mit wenigen Windungen, gleiche Stromstärke vorausgesetzt.

Es gibt aber auch die Umkehrung des oben genannten Merksatzes: Ruht ein Draht in einem sich quer zu ihm bewegenden Magnetfeld, so werden die in ihm befindlichen freien Elektronen innerhalb des Drahtes verschoben. An seinem einen Ende entsteht ein Elektronenstau (also ein Minuspol), an seinem anderen Ende ein Elektronenmangel (also ein Pluspol). Diese magnetisch erzeugte Spannung zwischen seinen Enden heißt „Induktionsspannung“. Bei einer Spule ist die zwischen ihren Enden herrschende Induktionsspannung die Summe der Induktionsspannungen aller Windungen.

Ein bewegtes Magnetfeld kann man nicht nur durch Bewegen eines Elektromagneten erhalten. Es genügt auch, die Stromstärke in einer ruhenden Spule zu ändern: Das von ihr erzeugte Magnetfeld bewegt sich dann durch Ausdehnen oder Zusammenziehen von ihr weg oder zu ihr hin. Bild 145 zeigt als Prinzipdarstellung, wie sich bei einer Zunahme des Stromes I_p das Magnetfeld um den ruhenden Leiter ausdehnt. Der ebenfalls ruhende Nachbarleiter befindet sich also in einem bewegten Magnetfeld, was die Ausbildung einer Induktionsspannung zwischen seinen Enden zur Folge hat. Da sie über R_a verbunden sind, fließt ein Induktionsstrom I_s. Bild 146 zeigt die Richtungsumkehr von I_s, wenn sich das Magnetfeld wegen Abnahme von I_p zusammenzieht.

Bild 145. Aufbau eines Magnetfeldes

Wir drücken nun den Taster in Aufbau 143 mehrmals kurz und beobachten die LED_2 : Sie blinkt jedesmal in dem Augenblick kurz auf, wenn wir den Taster gerade loslassen. Das ist deutlicher zu sehen, wenn wir den Taster rasch loslassen, also zum Beispiel mit dem Fingernagel drücken, den wir dann rasch seitlich wegziehen, so daß der Taster hochschnappt. (Wegen des geringen R_i von Batterien gelingt der Versuch mit Batterien besser als mit einem Netzteil. Das Versuchsergebnis sollte übrigens nicht durch Erhöhen von U_{B1} verbessert werden, weil bei einem Wackelkontakt sonst die zulässige Sperrspannung von LED_2 überschritten würde.)

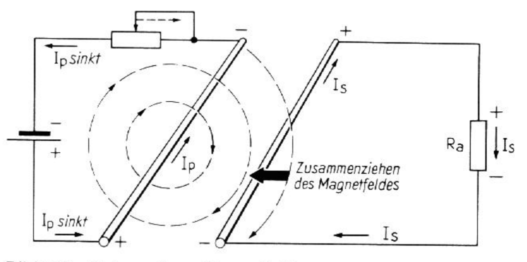


Bild 146. Abbau eines Magnetfeldes

Das kurze Aufleuchten von LED_2 erscheint besonders rätselhaft, weil sie ja in Sperrichtung in der Schaltung steckt. Wie Bild 144 zeigt, wird x beim Niederdrücken des Tasters positiv und y negativ. LED_2 sperrt, und es fließt nur ein Strom durch die Spule, der ein Magnetfeld um die Spule aufbaut. In dem Augenblick, wo wir den Taster loslassen, nimmt dieser Strom bis auf Null ab, und das Magnetfeld zieht sich zusammen.

Dadurch wird in den Windungen der Spule eine Spannung induziert, die den bisherigen Stromfluß durch die Spule aufrechtzuerhalten sucht, bis das Magnetfeld sich verbraucht hat. Dieser Induktionsstrom ist als I_i auf Bild 144 eingezeichnet. Da die Spule jetzt als Spannungsquelle arbeitet, wird der Anschluß y, über den der Strom die Spule verläßt, positiv, und x erscheint negativ. Wie die Pfeile bei y und x zeigen, ist die LED_2 für diesen Stromstoß in Durchlaßrichtung gepolt und zeigt ihn an.

Wenn eine Spannung – wie in unserem Versuch – in derselben Spule induziert wird, die das für die Induktion nötige Magnetfeld geliefert hat, spricht man von „Selbstinduktion". Eine Spule, in der eine Stromänderung von 1 A je Sekunde eine Spannung von 1 V induziert, hat eine Selbstinduktion (L) von 1 Henry (H).

Dieser Zusammenhang bedeutet, daß die Höhe der Selbstinduktionsspannung nicht nur von der Selbstinduktion L einer Spule (große Windungszahl ≙ große Selbstinduktion) oder von der Größe der Stromänderung, sondern auch von der Geschwindigkeit der Stromänderung abhängt. Die Maßeinheit Henry ist nach dem amerikanischen Physiker Joseph Henry (1797–1878) benannt, der 1834 die Induktion mit entdeckt hat.

Unsere Spule hat, wenn ihre Wicklungen L_D und L_E in Serie geschaltet sind, zwischen den Anschlüssen 9 und 12 eine Selbstinduktion von $L =$ ca. 4,3 mH.

23.2 Übertragung ohne Drahtverbindung

Wenn wir eine elektrische Leistung ohne Drahtverbindung von einem Stromkreis auf einen anderen Stromkreis übertragen wollen, können wir das Transformatorprinzip anwenden. Transformieren heißt umwandeln. Dabei wandelt man eine elektrische Leistung zunächst in eine magnetische Leistung um, die anschließend in elektrische Leistung zurückverwandelt wird.

Wie geht das vor sich? Eine Stromänderung in der Spule des ersten Stromkreises (Primärspule) hat ein änderndes Magnetfeld zur Folge. Dieses induziert in der Spule des zweiten Stromkreises (Sekundärspule) eine Spannung, die den Sekundärstrom durch den Lastwiderstand treibt. Beide Kreise müssen durch das Magnetfeld miteinander „verkettet" sein, wozu man beide Spulen (auch Wicklungen genannt) auf einen gemeinsamen Kern steckt, dessen Material (z. B. weiches Eisen oder Ferrit) ein Magnetfeld gut leiten kann.

Bild 147 zeigt rechts den ersten Kreis mit der Primärspule L_E und links den zweiten Kreis mit L_D als Sekundärspule. Als Lastwiderstand dienen im Sekundärkreis zwei antiparallelgeschaltete Leuchtdioden mit Vorwiderständen. Wir bauen die Schaltung nach Bild 148, Seite 96 auf, schalten S_1 ein und drücken mehrmals auf den Taster. Jedesmal, wenn wir den Taster drücken, leuchtet LED_1 auf und beim Loslassen LED_2. (Wie im vorigen Kapitel beschrieben, leuchtet LED_2 auch hier heller auf, wenn wir den Taster plötzlich hochschnappen lassen, und die Schaltung funktioniert mit Batterien besser als mit einem Netzteil).

Auf Bild 149, Seite 97, sehen wir, wie der Primärstrom in der Einschaltphase „e" ansteigt, was eine von LED_1 angezeigte positive Sekundärspannungsspitze zur Folge hat. LED_2 sperrt und bleibt dunkel. Während der Mittelphase „m" ändert sich die Primärstromstärke nicht, und in der Sekundärspule wird keine Spannung induziert. Beim Ausschalten

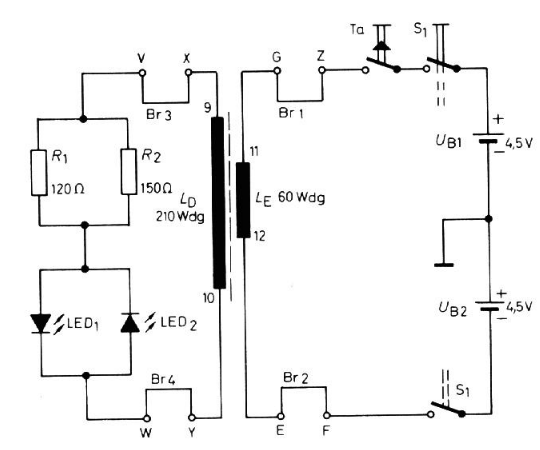
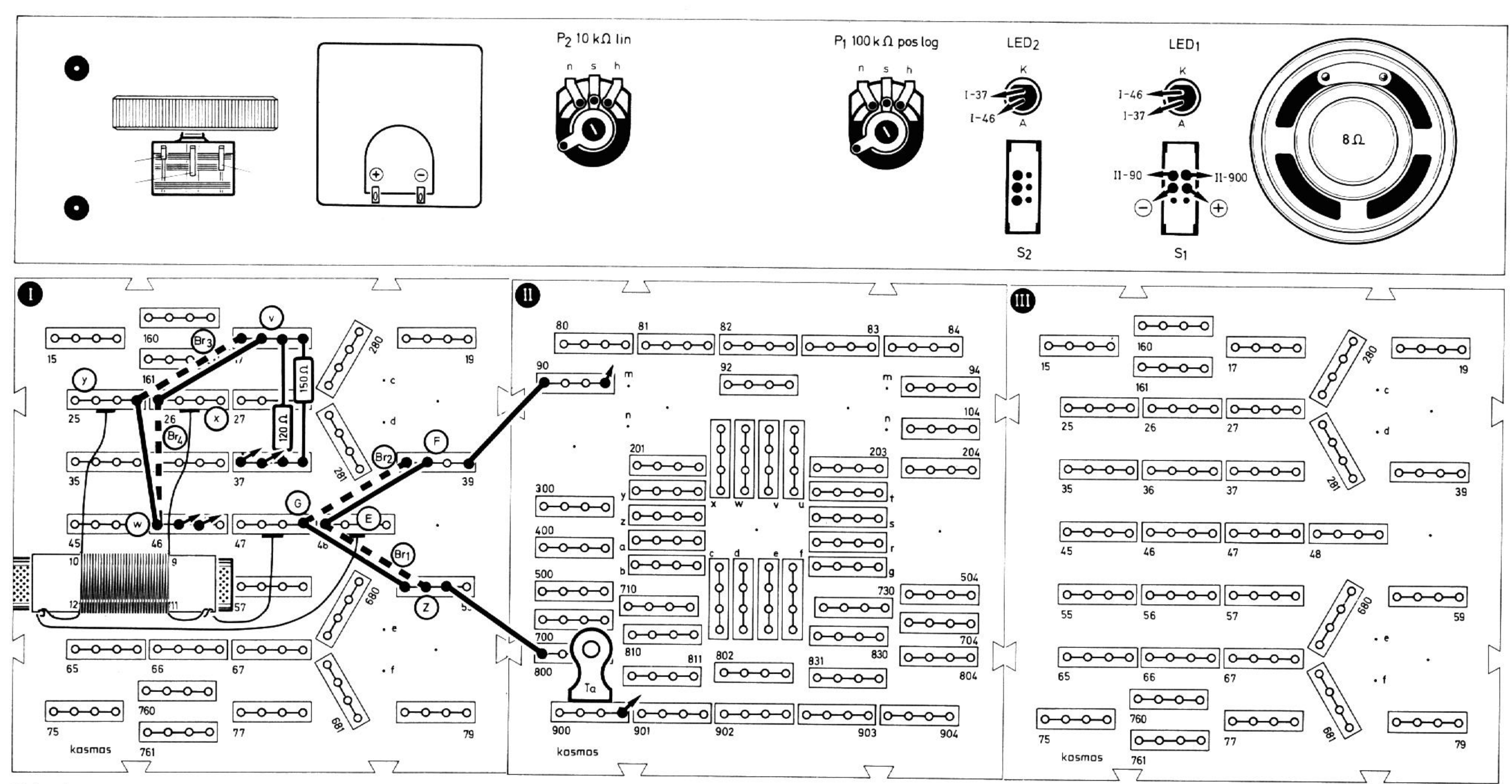


Bild 147. Prinzip des Transformators

induziert das Abfallen des Primärstromes eine von LED_2 angezeigte negative Sekundärspannungsspitze, während LED_1 sperrt und dunkel bleibt (in Phase „a").

Durch Umpolen einer der beiden Spulen (durch Umstecken der Brücken entweder Z an E und F an G oder x an w und y an v) werden die induzierten Sekundärspannungen gegenpolig, so daß beim Drücken des Tasters nur LED_2 leuchtet und beim Loslassen LED_1.

Während ein Transformator von einer Gleichspannung nur die Ein- und Ausschaltänderungen auf die Sekundärspule überträgt, kann er eine an die Primärspule gelegte Sinuswechselspannung vollständig in eine Sekundärwechselspannung gleichen Kurvenverlaufs umwandeln. Die Höhe der induzierten Sekundärwechselspannung u_2 hängt dabei sowohl von der Höhe der Primärwechselspan-


Bild 148. Aufbaubild Prinzip des Transformators

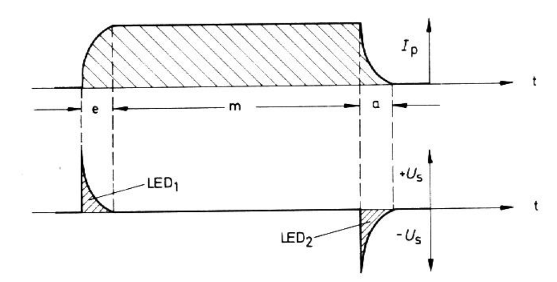


Bild 149. Strom- und Spannungsverlauf am Transformator

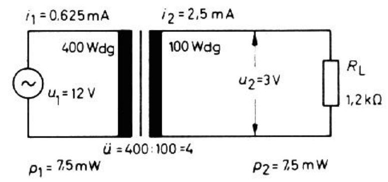
nung u_1 als auch vom Übersetzungsverhältnis des Transformators $ü$ ab, also dem Verhältnis der Windungszahl N beider Spulen.

$$ü = \frac{N_1}{N_2} \qquad \text{(F37)}$$

$$u_2 = \frac{u_1}{ü} \qquad \text{(F38)}$$

Bild 150 zeigt das Prinzip einer Transformation, wobei Verluste durch Kraftlinienstreuung, Wärme usw. unberücksichtigt bleiben. Der gezeigte Transformator (der Fachmann sagt kurz Trafo) transformiert die Eingangsspannung nach Formel F 38 von 12 V auf 3 V herab. Bei einem Lastwiderstand $R_L = 1{,}2$ kΩ fließt nach Formel F 3 ein Sekundärwechselstrom $i_2 = 2{,}5$ mA. Das ergibt eine Sekundärleistung

Bild 150. Transformationsprinzip



$p_2 = 7{,}5$ mW. Diese Leistung muß als Primärleistung p_1 von der Primärspule aufgenommen und in magnetische Leistung umgewandelt werden. Bei $u_1 = 12$ V ergibt sich der Primärwechselstrom $i_1 = 0{,}625$ mA. Formel F 39 zeigt den Zusammenhang zwischen i_1 und i_2:

$$i_1 = \frac{i_2}{ü} \qquad \text{(F39)}$$

Da die Primärspule an 12 V nur 0,625 mA aufnimmt, erscheint u_1 nach Formel F 4 mit dem Eingangswiderstand $R_e = 19{,}2$ kΩ belastet. Formel F 40 zeigt, daß der Trafo einen Widerstand mit dem Quadrat des Übersetzungsverhältnisses wandelt. Um Verwechslungen zu vermeiden, sei angemerkt, daß R_L und R_e nichts mit dem Drahtwiderstand der Trafo-Spulen zu tun haben. Der Drahtwiderstand wirkt sich nur als Erhöhung des R_i der Spannungsquelle aus.

$$R_e = R_L \cdot ü^2 \qquad \text{(F40)}$$

Trafos werden je nach Anwendungszweck auch „Übertrager" oder „Wandler" genannt. Eine besondere Schaltung der Wicklungen zeigt Bild 151. Es handelt sich um den sogenannten Spar-Trafo, auch „Autotrafo" genannt. Auto = selbst, was hier darauf hinweisen soll, daß die Primärspule ihren Spannungsanteil „selbst transformiert". Das ist hochgestochen und nicht ganz richtig ausgedrückt. Gemeint ist, daß die Primärspannung zur Sekundärspannung in Serie geschaltet ist, also selbst einen Teil der Sekundärspannung bildet.

Die Bezeichnung „Spar-Trafo" rührt daher, daß der die Primärspule durchfließende i_2 dem i_1 entgegengesetzt ist, so daß in der Primärspule nur die Differenz von i_1 und i_2 fließt. Man kommt also mit einem geringeren Drahtquerschnitt für die Primärspule aus, als sonst nötig wäre. Bei Trafos für große Ströme bringt das eine Kupferersparnis.

Wir bauen die Schaltung nach Bild 152, Seite 98, auf. Sie verhält sich genau wie die nach den Bildern 147 und 148, nur daß die Sekundärspannung etwas höher ist. Bei genauem Hinsehen erkennt man, daß die LEDs tatsächlich etwas heller aufblinken.

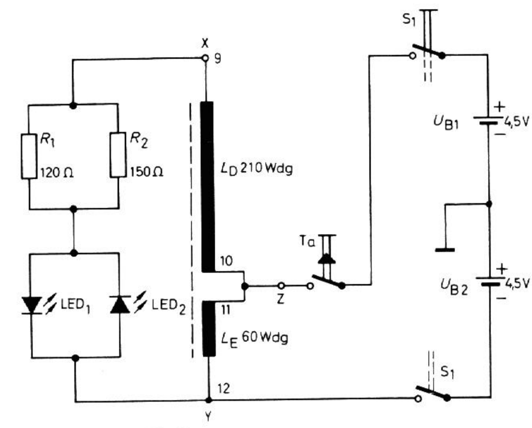


Bild 151. Spar-Trafo

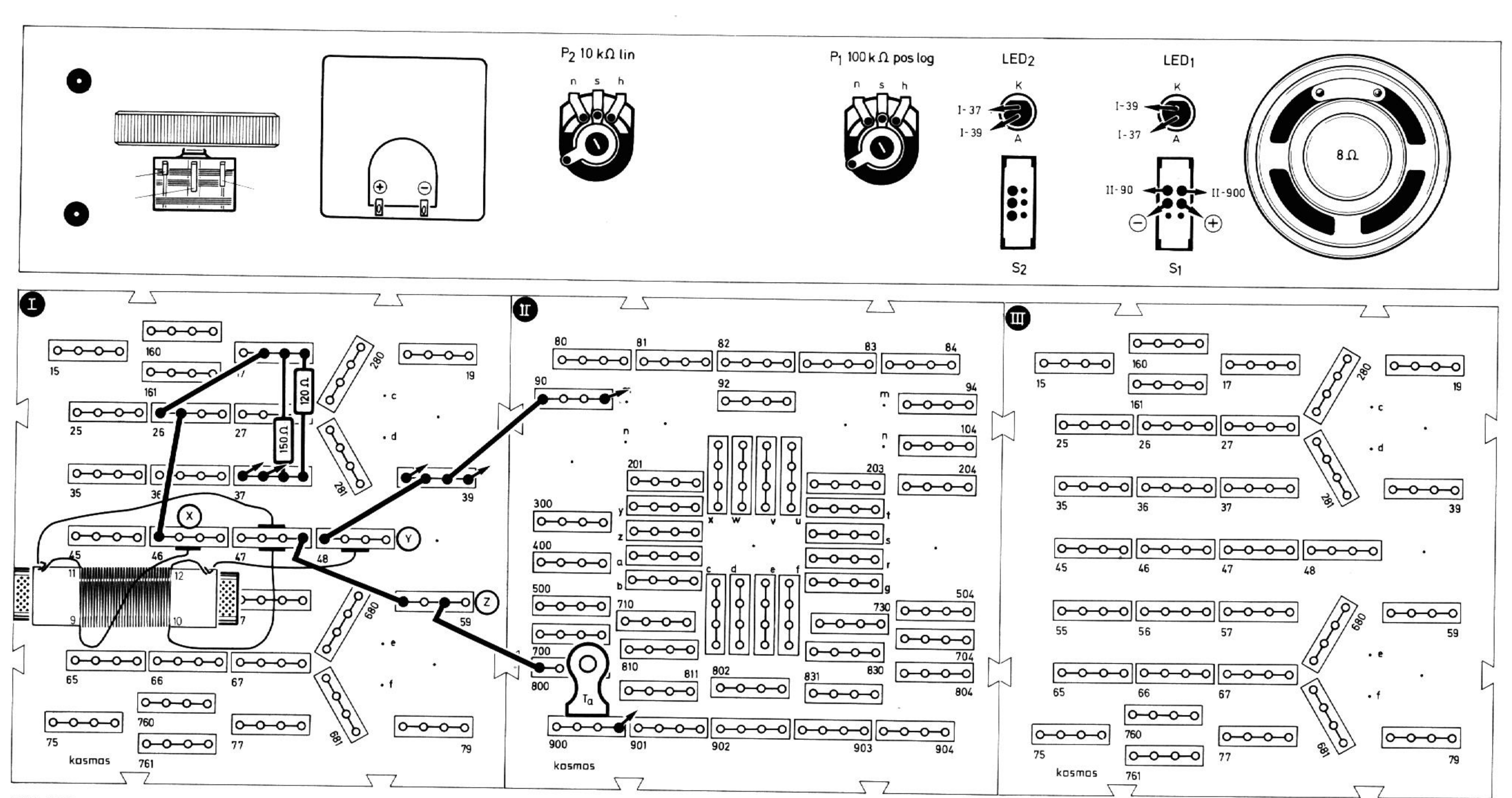


Bild 152. Aufbaubild Spar-Trafo

24. Schwingkreis und Rückkopplung

24.1 Pendeln zwischen zwei Zuständen

Im vorigen Kapitel haben wir beobachtet, daß eine stromdurchflossene Spule ein Magnetfeld aufbaut. Die in diesem Magnetfeld gespeicherte magnetische Energie hatte sich im Augenblick der Stromunterbrechung in elektrische Energie zurückverwandelt, mit der wir eine LED aufblinken ließen. Wenn wir diese Energie statt dessen einem Kondensator zuleiten, lädt er sich auf und hat damit elektrische Energie gespeichert. Sobald die Aufladung beendet ist, beginnt der Kondensator sich über die Spule wieder zu entladen. Dieser Entladestrom baut um die Spule wieder ein Magnetfeld auf, und damit ist die elektrische Energie in magnetische Energie zurückverwandelt.

Die Energie pendelt also immer zwischen zwei Zuständen hin und her, sie wird abwechselnd in elektrische und magnetische Energie verwandelt. Eine Einrichtung, die dieses Hin- und Herpendeln ermöglicht, nennt man Schwingkreis. Bild 153 zeigt das Prinzipschaltbild eines aus L und C bestehenden Parallelschwingkreises. Solange der Taster gedrückt ist, fließt ein Strom durch die Spule, der das Magnetfeld aufrechterhält. Sobald der Taster losgelassen wird, beginnt die Energie zwischen L und C hin- und herzuschwingen.

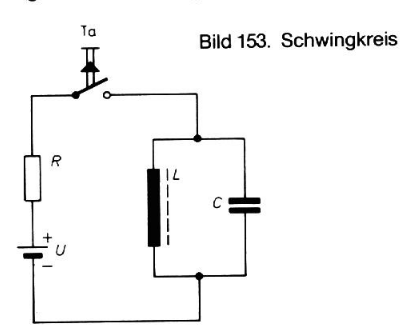


Bild 153. Schwingkreis

Das Hin- und Herschwingen wird um so langsamer, je größer die Kapazität des Kondensators und die Induktivität der Spule sind. Die Anzahl der Schwingungen läßt sich nach der Thomsonschen Schwingungsformel F 41 in Hz berechnen, wenn man C in Farad und L in Henry einsetzt. Die Formel ist zu Ehren des englischen Physikers William Thomson (1824–1907, ab 1892 Lord Kelvin) benannt.

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{C \cdot L}} \quad \text{(F 41)}$$

Theoretisch betrachtet müßte sich dieses Schwingen unendlich fortsetzen. Da der Spulendraht dem Stromfluß jedoch einen Widerstand entgegensetzt, entstehen Wärmeverluste, die die pendelnde Energie langsam aufzehren. So nimmt die Schwingungsweite (Amplitude) von Schwingung zu Schwingung etwas ab (Bild 154). Einen so verlaufenden Schwingungszug nennt man „gedämpfte Schwingung".

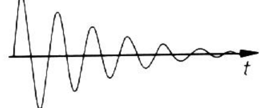


Bild 154. Gedämpfte Schwingung

Bild 155. Ungedämpfte Schwingung

Bild 155 zeigt eine ungedämpfte Schwingung, die sinusförmigen Verlauf hat und entsteht, wenn man die Verluste (außer Wärmeverlusten in der Spule entstehen noch Streuverluste des magnetischen Feldes und dielektrische Verluste beim Laden des Kondensators) bei jeder Schwingung ausgleicht. Die negativen Halbwellen kommen dadurch zustande, daß das Magnetfeld sich in umgekehrter Richtung aufbaut, wenn der Strom aus dem Kondensator zurückfließt und der Kondensator dann anschließend entgegengesetzt gepolt geladen wird.

24.2 Eine Kuh säuft ihre eigene Milch

Bild 156, Seite 100, zeigt eine Schaltung, die einen Schwingkreis zu ungedämpften Schwingungen anregt, man nennt sie Oszillatorschaltung. Darin ist T_1 ein A-Verstärker, an dessen Kollektor der Schwingkreis angeschlossen ist. Durch den Einschaltstromstoß wird der Schwingkreis angeregt. Da seine Spule ein Autotrafo ist, gelangt ein Teil der Wechselspannung des Schwingkreises über C_1 an die Basis von T_1, die dadurch im Takte der Schwingungen gesteuert wird. Nun verstärkt der Transistor die ankommenden Schwingungen und erhält so die Schwingungen im Schwingkreis an seinem Ausgang aufrecht. Man könnte den Transistor T_1 mit einer Kuh vergleichen (Bild 157, Seite 100), die von der durch sie produzierten Milch (verstärkte Schwingungen) einen Teil wieder zum Saufen bekommt (vom Ausgang abgezweigte Schwingungen).

Diese Schwingschaltung heißt, weil ihre Spule drei Anschlüsse hat, induktive Dreipunktschaltung oder, nach ihrem Erfinder, Hartley-Schaltung. T_2 ermöglicht mit dem Lautsprecher ein Mithören der Schwingungen, P_1 ist der Lautstärkeregler. Der Trafo ist gewickelt, wie in Teil III, Kapitel 69.3 beschrieben.

Wir bauen die Schaltung nach Bild 158, Seite 101, auf. Den gestrichelten C_4 setzen wir zwischen I-59 und I-79 ein und achten darauf, daß Brücke Br_2

Bild 156. Hartley-Schaltung

zwischen I-59 und I-57 steckt. Die gestrichelte Brükke Br_1 lassen wir weg. Dann schalten wir S_1 ein. Wir hören nach Aufdrehen von P_1 einen hohen Ton, dessen Frequenz wir nach Formel F 41 ausrechnen können, wenn wir für $L = 4{,}3$ mH ($= 0{,}0043$ H) und für $C = 300$ nF ($= 0{,}000\,000\,3$ F) einsetzen (C besteht aus den drei 100-nF-Kondensatoren). Dann ergibt sich für $f = 4431$ Hz.

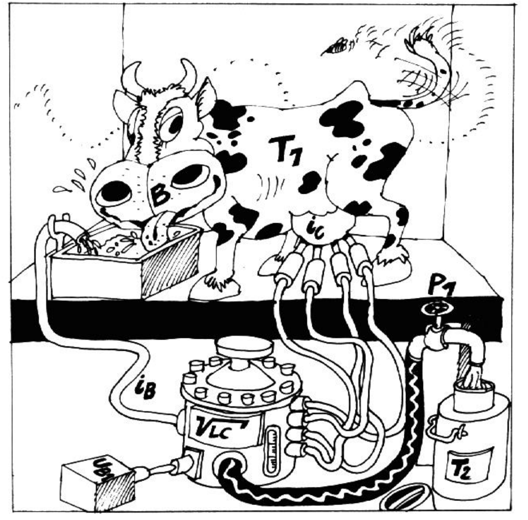
Daß die Frequenz eines Schwingkreises durch Verkleinern der Kapazität steigt, prüfen wir durch Herausziehen von C_4. Sofort wird der Pfeifton höher (nach der Rechnung ergibt sich $f = 5427$ Hz).

Falls wir die Spule nicht zu fest gewickelt haben, läßt sich der Ferritkern in ihr verschieben. Wir stellen fest, daß der Ton höher wird, wenn wir den Kern etwas herausziehen. Dadurch erniedrigt sich nämlich die Induktivität der Spule. Wenn wir ihn zu weit herausziehen, reißt der Ton allerdings ab, weil die magnetische Verkettung der beiden Spulen dann nicht mehr ausreicht.

Wenn wir jetzt Br_3 zwischen B und F herausziehen und zwischen B und M einstecken, wird der Ton lauter; denn wir haben als Kollektorwiderstand nicht mehr R_1 mit 470 Ω, sondern nur noch den Drahtwiderstand der Spule L_E, wodurch sich der Arbeitspunkt so verschiebt, daß die Ausgangsleistung größer wird. Da C_5 nun parallel zu U_{B1} liegt, können wir ihn aus der Schaltung nehmen, ohne daß sich etwas verschlechtert.

Das Zurückführen eines Teils der Ausgangswechselspannung (bzw. des Ausgangswechselstromes) zur Steuerung des Eingangs nennt man positive „Rückkopplung", weil sie das Entstehen der Ausgangswechselspannung (bzw. des Ausgangswechselstromes) unterstützt. Hat das zurückgeführte Steuersignal falsche Phasenlage (wir prüfen das

Bild 157. Positive Rückkopplung: Die Kuh bekommt einen Teil ihrer eigenen Milch zurück



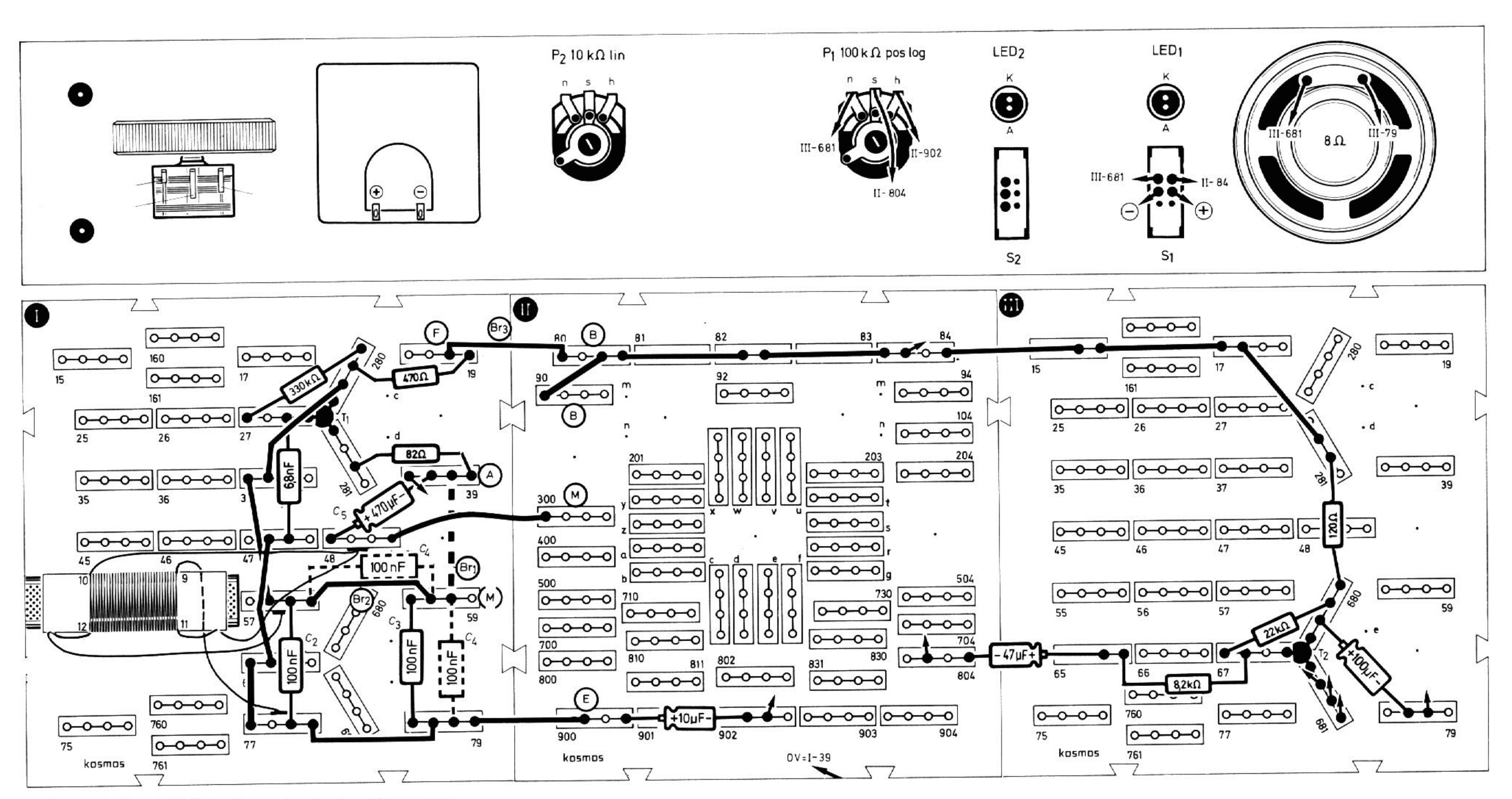


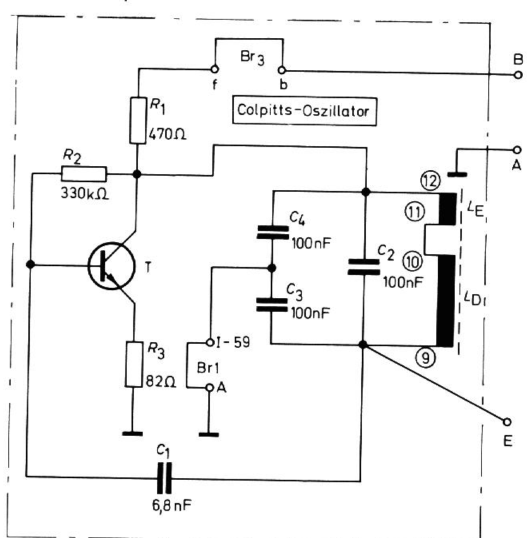
Bild 158. Aufbaubild Schwingkreis: Hartley-Schaltung

durch Tauschen der Spulenanschlüsse 9 und 10), so kann die Schaltung nicht schwingen.

24.3 Es geht auch ohne Anzapfung

Ist keine Spule mit Anzapfung vorhanden, so kann man trotzdem eine nach diesem Prinzip arbeitende Rückkopplungsschaltung aufbauen. Man unterteilt einfach den Schwingkreiskondensator. Bild 159 zeigt diese Schaltung. Es ist die kapazitive Dreipunktschaltung, die nach ihrem Erfinder auch Colpitts-Schaltung genannt wird. Auf den Schwingkreis wirken die beiden Kondensatoren C_4 und C_3 wie die Serienschaltung zweier Kondensatoren, hier also mit einer Gesamtkapazität von 50 nF. Zusammen mit C_2 hat der Schwingkreis also eine Kapazität von 150 nF. Der an C_3 liegende Teil der Ausgangsspannung wird zum Steuern der Basis zurückgeführt.

Bild 159. Colpitts-Oszillator



Um den Colpitts-Oszillator auszuprobieren, bauen wir die Schaltung aus dem vorigen Kapitel (Bild 158) um:

1) S_1 ausschalten.
2) Dafür sorgen, daß Br_3 zwischen B und F steckt.
3) Zwischen B und M darf keine Verbindung bestehen.
4) Falls zwischen M und A noch der Elko C_5 steckt, herausziehen.
5) Br_2 herausziehen und als Br_1 zwischen A und I-59 einstecken.
6) C_4 soll nicht mehr zwischen I-59 und I-79 stekken, sondern zwischen I-59 und I-57 eingesteckt werden.

Wir schalten S_1 ein und hören einen hohen Ton, der wegen der nun kleineren Schwingkreiskapaität höher ist als vorhin. Nach der Rechnung ergibt sich (Formel F 41; 0,0043 H; 0,000 000 15 F) $f = 6267$ Hz.

24.4 Gewollte Verzögerung

Bild 160, Seite 103, zeigt eine Schaltung, von der uns im Augenblick nur die Tongeneratorstufe mit T_1 interessiert. Wie wir aus dem Kapitel über Kondensatoraufladung wissen, dauert eine Aufladung (oder Entladung) auf die volle Spannung (oder auf 0 Volt) eine gewisse Zeit, wenn der Lade- bzw. Entladestrom über einen Widerstand zum Kondensator geführt wird. Auf unserem Schaltbild liegen gleich drei *RC*-Glieder hintereinander: R_1/C_1, R_2/C_2 und P_2/C_3. *RC*-Glieder bewirken eine Verzögerung eines Signals.

Wie bei den vorhin besprochenen Schwingschaltungen müssen wir auch hier etwas von der Kollektorspannung abzweigen und der Basis zum Steuern zuführen. Nun haben wir hier eine Emitterschaltung im A-Betrieb, und wir wissen, daß dann ein Ansteigen der Kollektorspannung von einem Rückgang des Basisstromes hervorgerufen wird. Würden wir unverzögert rückkoppeln, so wäre das keine Mitkopplung. Leiten wir die rückgekoppelte Spannung aber über unsere Verzögerungskette, so kommt sie gerade zur rechten Zeit an der Basis an, wenn nämlich dort ein Stromanstieg gebraucht wird, um am Kollektor den Spannungsrückgang für die Rückflanke der ersten Halbwelle einzuleiten.

Da eine zeitliche Verschiebung zweier Sinusschwingungen „Phasenverschiebung" genannt wird, heißt dieser Tongenerator „Phasenverschiebungs-Generator". Die erzeugte Frequenz hängt von der Verzögerungszeit ab und läßt sich durch die Werte der in der Kette verwendeten Widerstände und Kondensatoren bestimmen. In unserem Fall beträgt sie ungefähr 1200 Hz.

Um diese Schwingungen hörbar zu machen, ist eine Darlington-Verstärkerstufe mit T_2 und T_3 nachgeschaltet. Wir bauen die Schaltung nach Bild 161, Seite 104, auf, schließen aber noch kein Meßgerät an und achten darauf, daß die Brücken u–u und y–y noch nicht eingesteckt sind. Die Brücke v–x (von Aufbauplatte II-804 nach Aufbauplatte III-65) muß aber eingesteckt werden. Wenn wir S_1 einschalten, können wir durch Verstellen von P_2 den Ton zum Einsetzen bringen. Wir achten darauf, daß er beim Einsatz ganz weich klingt, ein Zeichen dafür, daß er in der Nähe des Einsatzpunktes praktisch sinusförmig ist. Wenn wir weiter aufdrehen, wird der Ton lauter und klingt etwas schärfer.

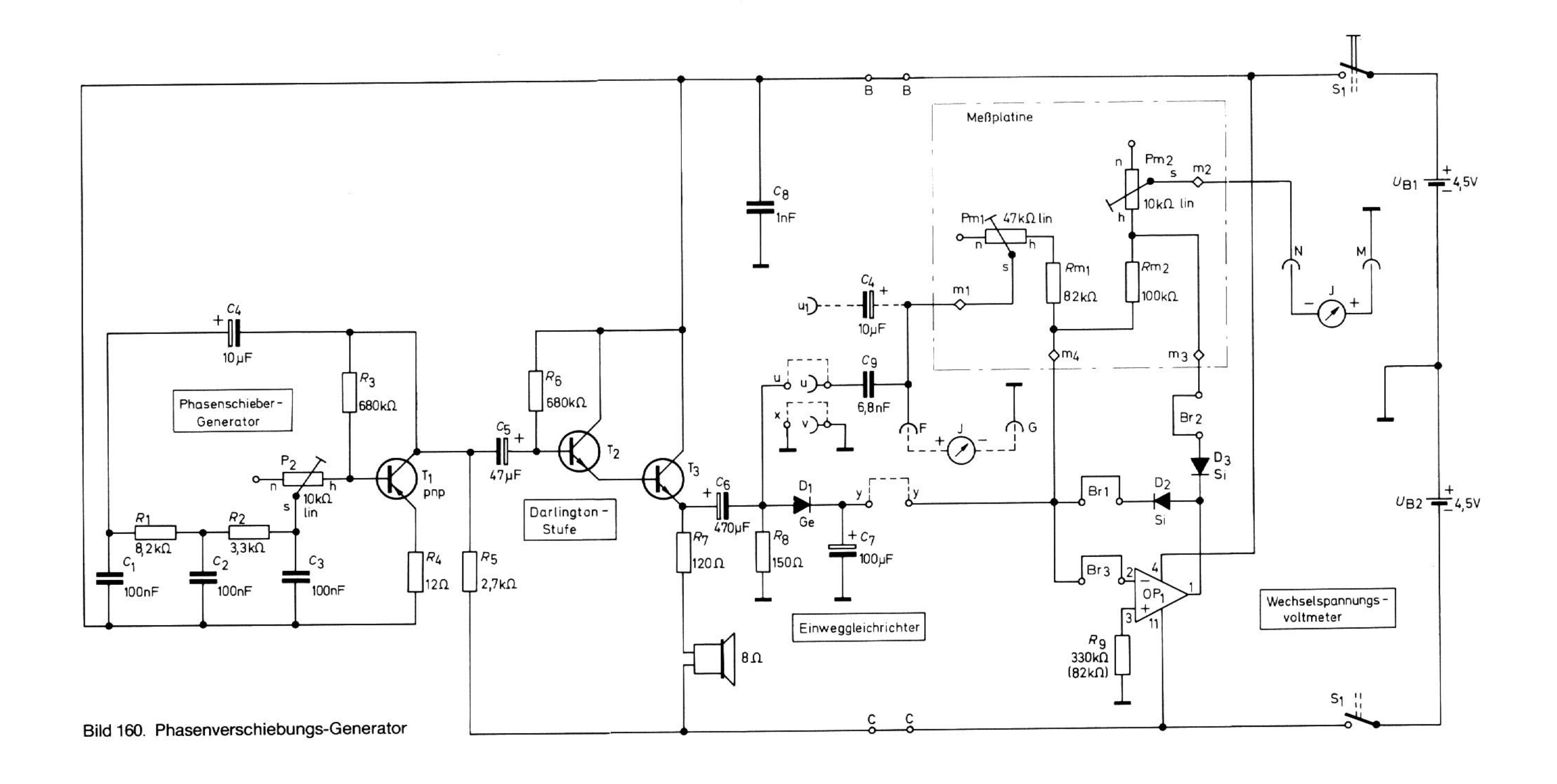


Bild 160. Phasenverschiebungs-Generator

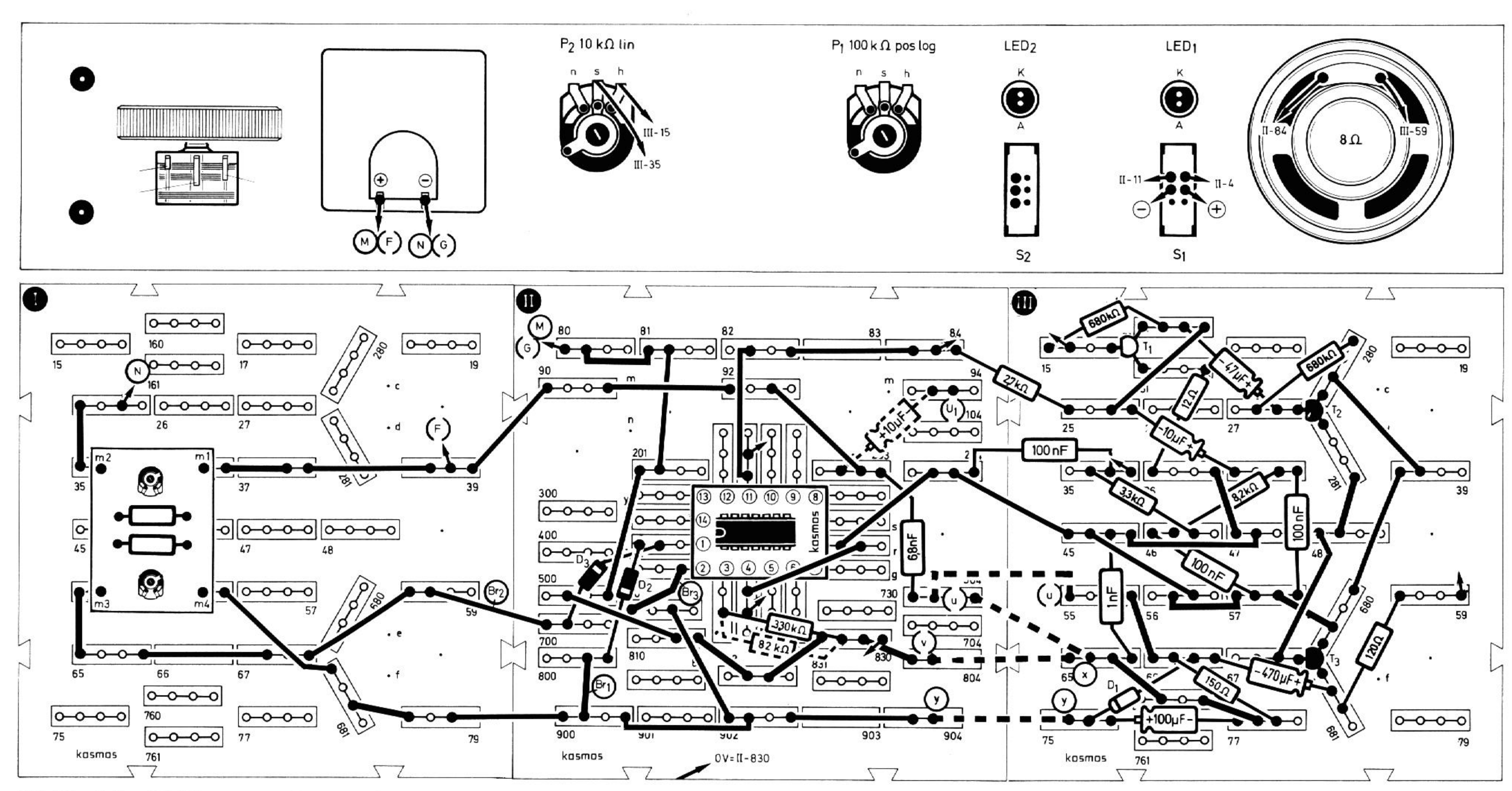


Bild 161. Aufbaubild Phasenverschiebungs-Generator

25. Gleichrichtung und Effektivwert

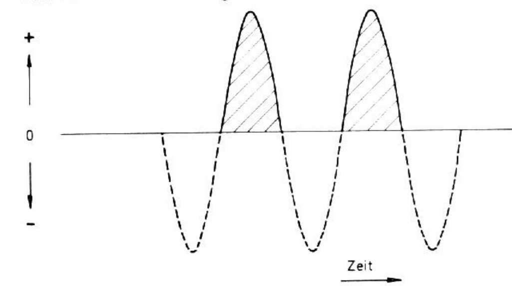
25.1 Aus Wechselspannung wird Gleichspannung

Vom Tonwechselstrom, den wir mit der Schaltung nach Bild 160 erzeugten, gelangt die knappe Hälfte über C_6 zum R_8 und ruft dort einen Wechselspannungsabfall hervor. Diese Wechselspannung wird zur Diode D_1 geleitet. Wie wir aus früheren Kapiteln wissen, lassen Dioden Strom nur dann durch, wenn sie in Durchlaßrichtung gepolt sind. In unserer Schaltung läßt die Diode also immer nur dann Ladestrom zum C_7 durch, wenn das obere Ende von R_8 positiv gegenüber Masse ist.

Bild 162 zeigt eine Sinusspannung, von der die untere Hälfte, also die negativen Halbwellen, abgeschnitten sind. Solange der Anschluß y blind endet, kann C_7 sich nicht entladen. Daher lädt er sich auf die Scheitelspannung der positiven Halbwellen auf, und diese Gleichspannung steht zwischen seinen Anschlüssen.

Bild 163 zeigt, wie diese Gleichspannung (einfach schraffiert) zwischen den positiven Halbwellen ab-

Bild 162. Gleichrichtung einer Sinusspannung



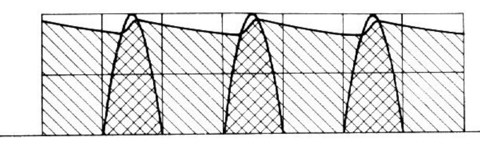


Bild 163. Spannung an C_7

nimmt, wenn zwischen y und Masse ein Widerstand angeschlossen wird. Dann sinkt die Spannung an C_7 je nach Wert des Widerstandes zwischen den Halbwellen mehr oder weniger ab und wird von jeder positiven Halbwelle wieder auf den höchsten Stand gebracht.

Wir wollen diese Gleichspannung an C_7 messen und ändern den Schaltungsaufbau nach Bild 161 dazu wie folgt ab (die folgenden Messungen haben natürlich nur dann einen Sinn, wenn die Meßplatine für das 10-V-Gleichspannungsvoltmeter nach Kapitel 10.3 eingestellt wurde):

1) S_1 muß ausgeschaltet sein, Brücke u–u darf nicht eingesteckt sein.
2) Brücke v–x einstecken.
3) Brücke y–y einstecken.
4) Meßinstrument mit Minuspol an G (II-80) und mit Pluspol an F (I-39) stecken.
5) Brücke Br_1 herausziehen.
6) Brücke Br_2 herausziehen.
7) Brücke Br_3 herausziehen.
8) S_1 einschalten.
9) P_2 so einstellen, daß Ton hörbar wird und Meßinstrument beobachten.

Wir sehen, daß die Gleichspannung an C_7 steigt, je lauter der Ton wird, je höher also die Tonwechselspannung an R_8 steigt. Unsere Schaltung ist so dimensioniert, daß die Tonwechselspannung an R_8 genau 1 V beträgt, wenn die Gleichspannung an $C_7 = 1{,}27$ V hat. Daher wollen wir das Wechselstromvoltmeter im nächsten Kapitel mit dieser Spannung abgleichen. Dazu stellen wir jetzt die 1,27 V an C_7 ein, indem wir mit P_2 den Zeigerausschlag auf 1,27 bringen (das ist halbe Zeigerbreite rechts von der Mitte zwischen den Teilstrichen für 1 und 1,5). Wir nähern uns dem Wert von Null aus, weil das Entladen von höherer auf niedrigere Spannung wegen der großen Kapazität und des hohen Widerstandes unseres Gleichspannungsvoltmeters ca. 1 Minute dauert.

Nach dieser Einstellung schalten wir S_1 nicht aus, wenn wir das Wechselspannungsvoltmeter im nächsten Kapitel abgleichen wollen, damit sich der Betriebszustand von T_1 durch das Schalten nicht ändert. Die eingestellte Spannung von 1,27 V beobachten wir ca. 1 Minute, um sicher zu sein, daß sie auch wirklich erreicht ist.

25.2 Gemessen vom Scheitel bis zur Sohle

Der Wert der Gleichspannung an C_7 (wir sind noch bei der Schaltung nach Bild 160) ist höher als der der speisenden Wechselspannung an R_8, weil man bei Wechselspannungen nicht den Scheitelwert über der Nullinie angibt, sondern nur den „Effektivwert" genannten Durchschnitt, der bei sinusförmiger Wechselspannung 70,7% des Scheitelwertes beträgt. Anders ausgedrückt hat der Scheitelwert das 1,41fache des Effektivwertes. In unserer Schaltung lädt sich C_7 nicht ganz auf die Scheitelspannung von 1,41 V auf, sondern nur auf 1,27 V.

Schaltbild 160 stellt ein Wechselspannungsvoltmeter für 1 V Vollausschlag mit allen für den Abgleich notwendigen Funktionsgruppen dar. Das Voltmeter

selbst besteht nur aus dem Präzisionsgleichrichter mit OP_1, der Meßplatine mit dem Poti P_{m2} und dem Meßinstrument zwischen M und N.

Bevor das Voltmeter zum Messen bereit ist, müssen drei Abgleichschritte vorgenommen werden (S_1 bleibt eingeschaltet).

1. Es wird eine Referenz-Wechselspannung von 1 V hergestellt. Dies haben wir im letzten Kapitel bereits dadurch gemacht, daß wir uns an C_7 eine Ladespannung von 1,27 V eingestellt haben. Die Schaltung ist so dimensioniert, daß 1,27 V Ladespannung einer effektiven Wechselspannung von 1 V am Tongenerator entspricht. Achtung: Zum Messen der Spannung an C_7 wurde das Meßinstrument an G und F geschaltet, weil hier eine Gleichspannung gemessen wird.

2. Das Meßinstrument wird danach an M und N geschaltet, also über P_{m2} an den Ausgang des Präzisionsgleichrichters. Wenn man nun den Eingang des Wechselspannungsvoltmeters kurzschließt (u mit x verbinden), so kann der Nullabgleich vorgenommen werden. Dazu sind im einzelnen folgende Handgriffe nötig:

2 a) Brücke y–y herausziehen. Brücke v–x muß stecken bleiben.
2 b) u (II-504) mit x (III-65) verbinden (schließt Eingang kurz).
2 c) Brücke Br_1 einstecken.
2 d) Brücke Br_2 einstecken.
2 e) Brücke Br_3 einstecken.
2 f) Meßinstrument mit Minuspol an N (I-25)
2 g) Meßinstrument mit Pluspol an M (II-80)

Wenn der Zeiger des Instrumentes nicht genau auf Null steht, muß man für R_9 verschiedene Widerstandswerte probieren (dazu eine Anschlußleitung des Instrumentes jeweils kurz herausziehen, um es nicht zu überlasten). Wenn diese Methode keinen befriedigenden Erfolg bringt, kann man R_9 ganz weglassen und das Poti P_1 einsetzen (Schleifer an III-3, h an II-11 und n an II-4) und mit dem Poti den Nullpunkt einstellen.

3. Der bereits auf 1 V Ausgangs-Wechselspannung eingestellte Tongenerator wird nun an das Wechselspannungsvoltmeter angeschaltet und das Poti P_{m2} so lange verdreht, bis das Instrument 10 Skalenteile Vollausschlag zeigt.

Folgende Schritte sind vorzunehmen:

3 a) Verbindung zwischen u und x herausziehen
3 b) Verbindung u–u einstecken
3 c) Der auf der Meßplatine befindliche 10-kΩ-Trimmer P_{m2} ist auf Vollausschlag einzustellen.

Damit ist der Abgleich beendet.

Wir können nun alle Verbindungen zwischen den Platten II und III entfernen und den Aufbau der Abgleichschaltung auf Platte III abreißen. Unser Wechselspannungsvoltmeter mißt zwischen u und v angelegte Wechselspannungen zwischen 900 Hz und 4 kHz bis zu 1 V. Zwischen u_1 und v können Wechselspannungen bis zu 1 V zwischen 40 Hz und 4 kHz gemessen werden, wenn C_4 in die Schaltung eingesetzt wurde. Ist der zu messenden Wechselspannung eine Gleichspannung überlagert, so ist die Anzeige bei Messungen zwischen u_1 und v wegen der Ladezeit von C_4 träge. Für Messung von Wechselspannungen mit Frequenzen über 4 kHz ist ein neuer Abgleich mit einer Vergleichsspannung höherer Frequenz nötig. Das Voltmeter belastet die zu messende Spannung mit ca. 100 kΩ.

Herzstück des Wechselspannungs-Voltmeters ist der Präzisionsgleichrichter, dessen Prinzipschaltung Bild 164 wiedergibt. Bei einer Gleichrichtung für Meßzwecke ist die Krümmung der Kennlinie der verwendeten Diode sehr nachteilig, weil dadurch die Teilung der Skala nicht mehr linear verläuft. Bei Verwendung eines OP läßt sich dieser Nachteil ausschalten, und wir bekommen eine lineare Anzeige, weil der Durchlaßwiderstand der arbeitenden Diode D_1 sich je nach Durchlaßstrom ändert und dadurch die Verstärkung des OP so gesteuert wird, daß die Schaltung im Durchlaßbereich der Diode linear arbeitet. D_2 verhindert eine Übersteuerung während der negativen Halbwelle, die sonst eine Erholzeit zur Folge hätte, während der der Null-

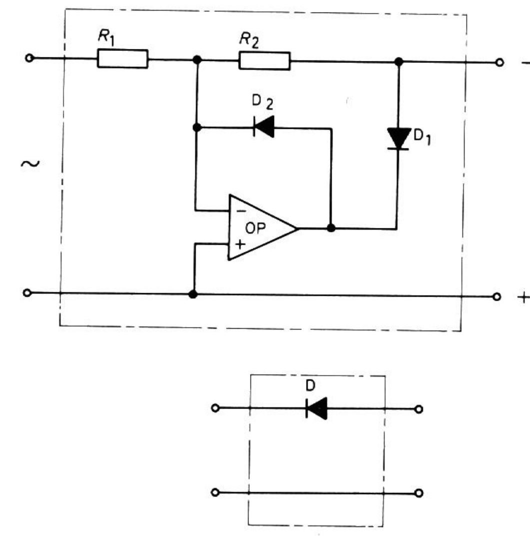


Bild 164. Präzisionsgleichrichter

durchgang nicht exakt übertragen würde. Die Schaltung entspricht der Anordnung der unter die Schaltung gezeichneten Diode.

25.3 Für versierte Hobby-Elektroniker: 100 mV Wechselspannung Vollausschlag

Wenn wir unserem Wechselspannungs-Voltmeter für 1 V Vollausschlag einen Meßverstärker vorschalten, bekommen wir höhere Empfindlichkeit. Bild 165 zeigt die um eine 10fach verstärkende Meßvorverstärkerstufe erweiterte Schaltung. Wir erhalten so ein Millivoltmeter für 100 mV Wechselspannung Vollausschlag. Der Meßverstärker besteht aus OP_4 mit R_1 und R_2. Er ist ein einfacher Wechselspannungsverstärker.

Die Genauigkeit der Anzeige hängt außer vom nachgeschalteten 1-V-Voltmeter nur davon ab, daß die Widerstandswerte von $R_1 : R_2$ möglichst genau 1 : 10 betragen. Der Eingangswiderstand beträgt ca. 100 kΩ. Daher ist ein Abgleich nicht erforderlich.

Wir bauen die Schaltung nach Bild 166, Seite 108, auf. Übrigens: Falls an einer Schaltung gemessen werden soll, für die wir den 100-nF-Kondensator brauchen, können wir als C_1 auch 6,8 nF einsetzen.

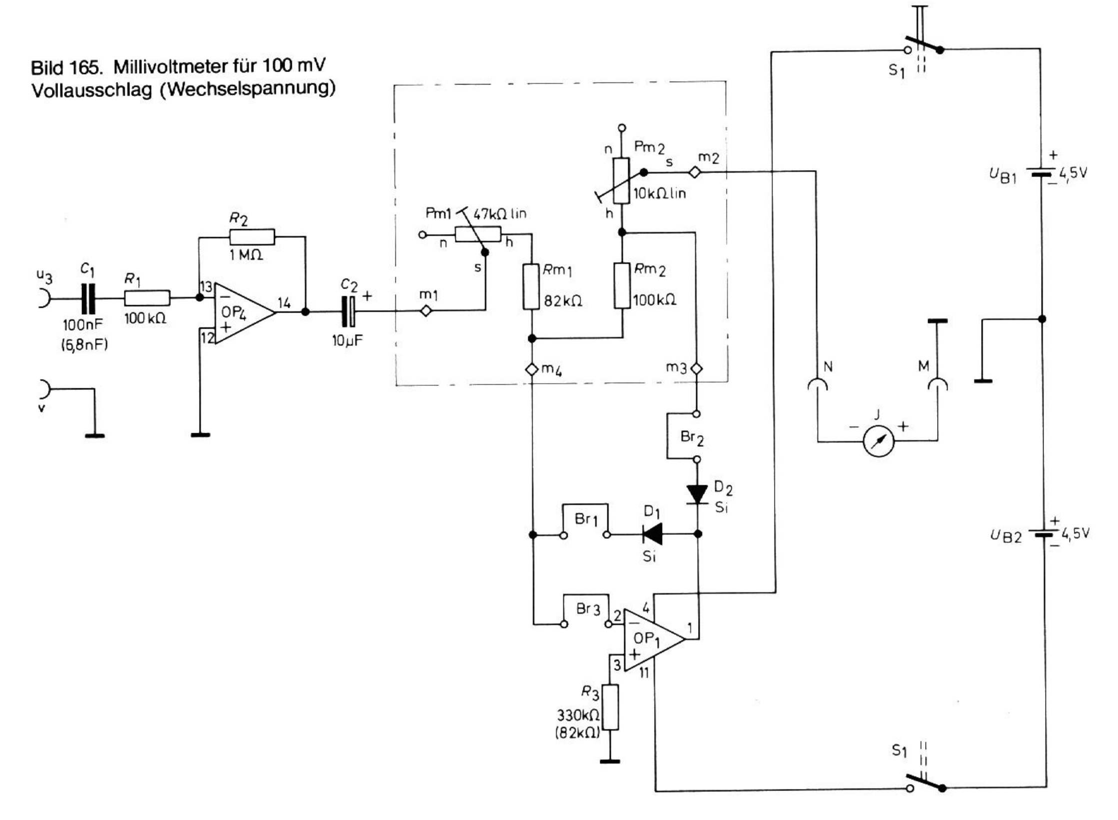


Bild 165. Millivoltmeter für 100 mV Vollausschlag (Wechselspannung)

Wenn wir diese Schaltung ausprobieren wollen, müssen wir schon etwas versiert sein und eine zu prüfende Schaltung auf die noch freie Platte III bauen. Hier ein erster Vorschlag: Den auf Bild 158 auf Platte I befindlichen Teil (Schaltung Bild 156 Hartley-Oszillator) auf Platte III aufbauen und am Schleifer des Potentiometers messen. Für C_6 den 47-µF-Elko nehmen und für 330 kΩ (wenn nicht frei) 680-kΩ-Widerstände parallel schalten. Falls P_1 besetzt ist, dafür P_2 schalten.

Beim Überprüfen von Schaltungen, bei der Entwicklung von Geräten, insbesondere aber auch beim Einsatz der Elektronik in angrenzenden Gebieten, wie z. B. Physik und Chemie spielt die Meßtechnik eine entscheidende Rolle. Viele großartige Entdeckungen der Physik in jüngster Zeit sind überhaupt erst durch die Verwendung von hochempfindlichen elektronischen Meßgeräten möglich geworden. Andererseits liegt der Reiz für den Elektroniker gerade darin, daß es ihm möglich ist, Aufgaben, die ihm von anderen Fachgebieten gestellt werden, elektronisch zu lösen. Ein Beispiel, wie elektronische Meßmethoden in der Chemie zur Anwendung kommen, finden sich im Kosmos-Chemie-Labor C 2. Dort werden Leitfähigkeitsversuche mit einem astabilen Multivibrator durchgeführt.

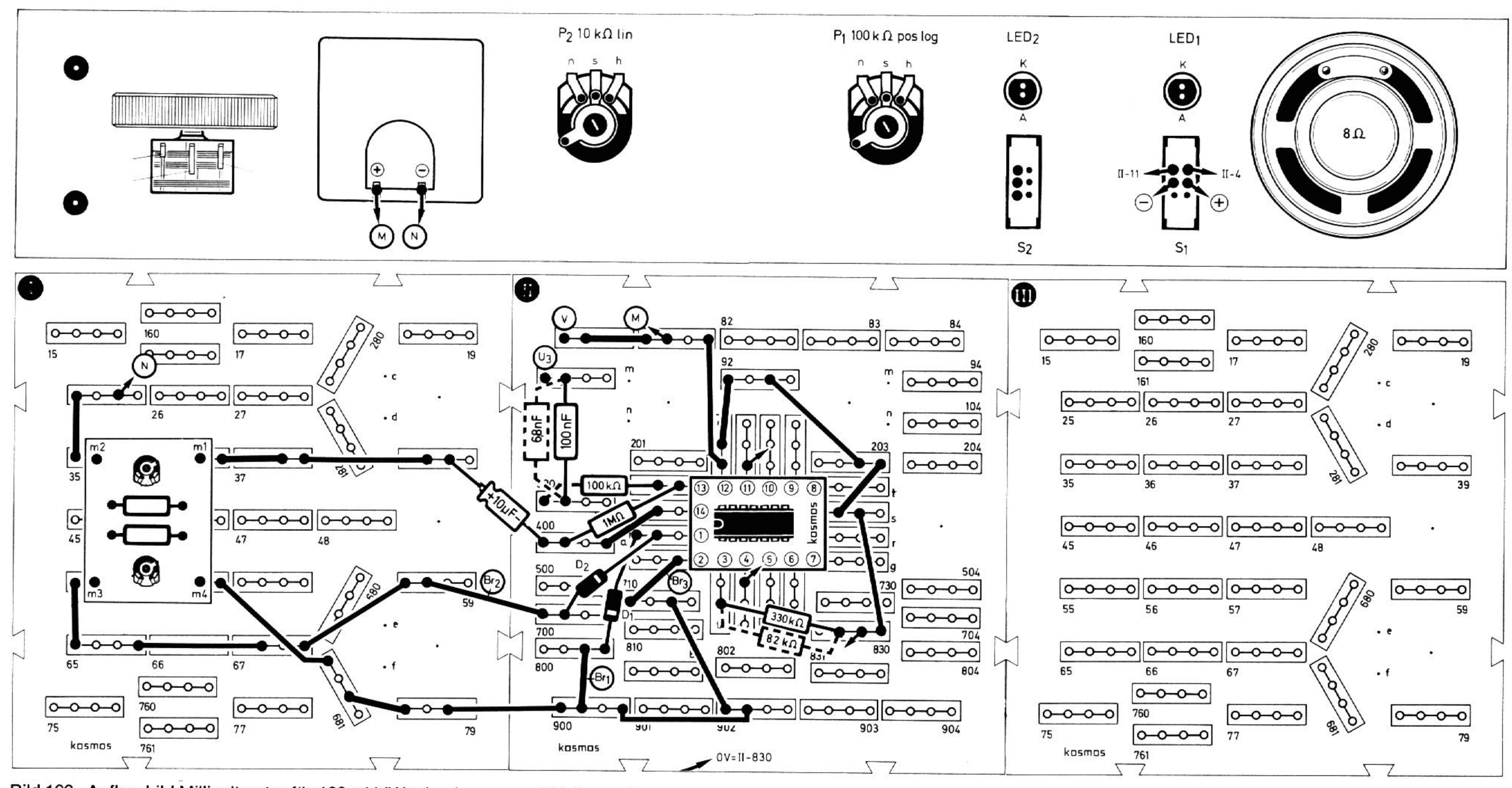


Bild 166. Aufbaubild Millivoltmeter für 100 mV (Wechselspannung) Vollausschlag

26. Gegentakt-Betrieb

26.1 Geteilte Arbeit

Beim A-Verstärker liegt der Arbeitspunkt in der Mitte, so daß für die Verstärkung jeder Halbwelle nur der halbe Änderungsbereich zur Verfügung steht. Teilt man die Verstärkung auf zwei Transistoren auf, von denen der eine die positive und der andere die negative Halbwelle verstärkt, so ist die Aussteuerung jeder Halbwelle größer. Bild 167 zeigt das Prinzip: Die Plushalbwellen werden nur vom npn-Transistor verstärkt, der bei positiver werdender Basis öffnet, die Minushalbwellen werden nur vom pnp-Transistor verstärkt, der bei negativer werdender Basis öffnet. Wo beide Emitter sich treffen, werden die im „Gegentakt“ verstärkten Halbwellen wieder zusammengesetzt.

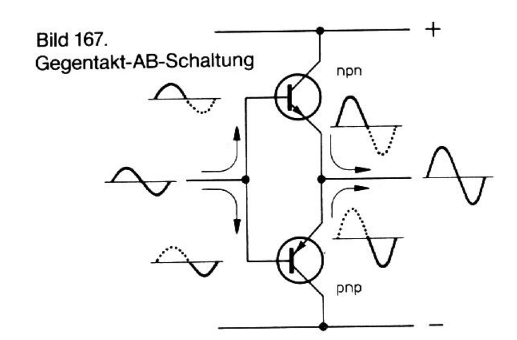
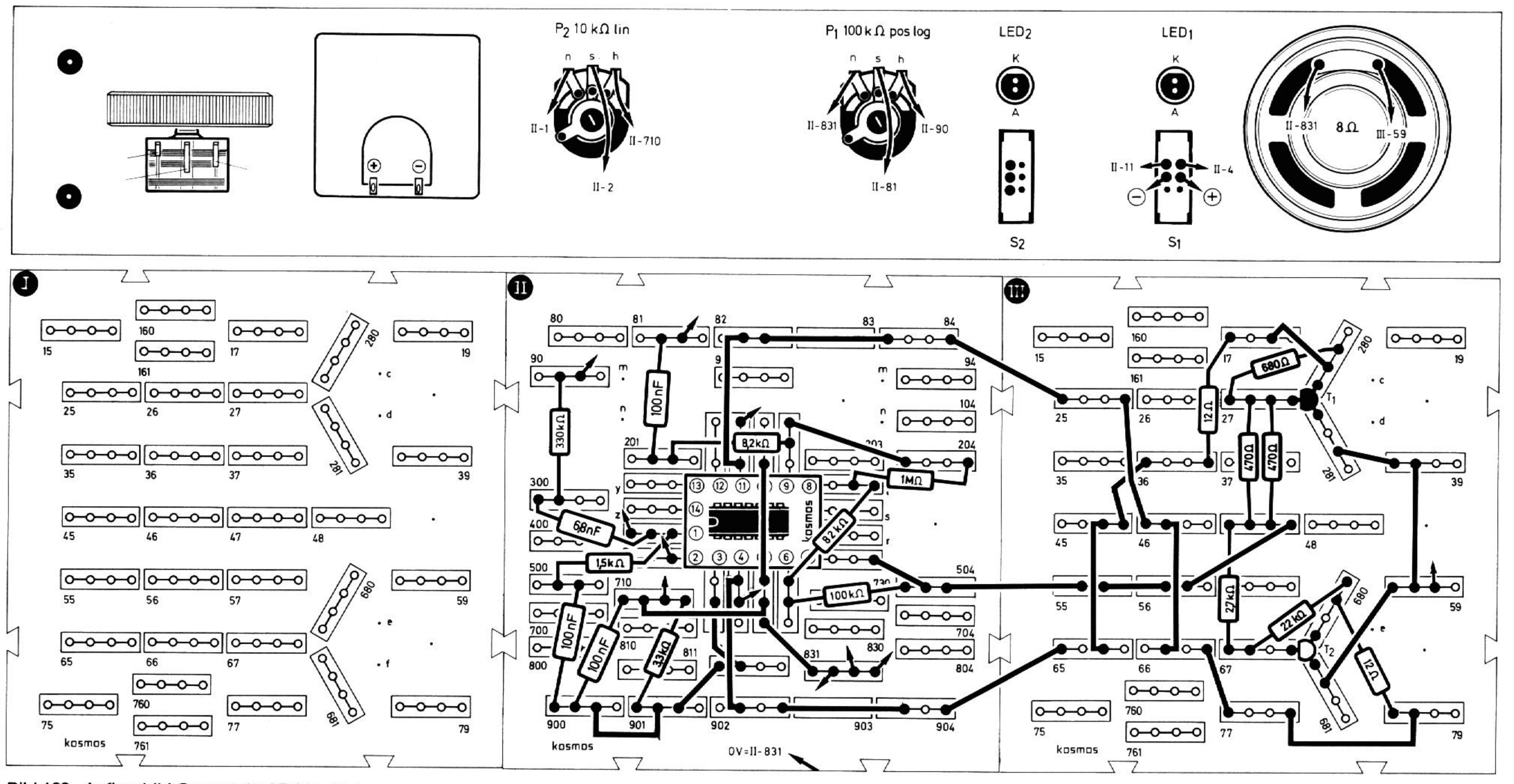


Bild 167. Gegentakt-AB-Schaltung

Im A-Verstärker nimmt der Transistor den durchschnittlichen Kollektorstrom auch auf, wenn er gar nicht angesteuert wird. Im sogenannten Gegentakt-B-Verstärker fließt ein Kollektorstrom nur, wenn gerade eine Halbwelle verstärkt wird. Ohne Ansteuerung sind beide Transistoren gesperrt. Das geht, wenn auf gute Wiedergabe Wert gelegt wird, nur theoretisch. Wegen der Drängung der Kennlinien im Gebiet schwacher Basisströme würden die Halbwellen nach der Verstärkung nicht mehr genau zusammenpassen (Übernahmeverzerrungen). Deshalb läßt man durch beide Transistoren auch ohne Ansteuerung etwas Kollektorstrom fließen und spricht dann von Gegentakt-AB-Verstärkung.

Bei der Schaltung nach Bild 168 sehen wir, wie die beiden Transistoren von einem OP angesteuert werden. Der OP-Ausgang ist so mit den Transistoren verbunden, daß jeder die für ihn bestimmte Halbwelle ohne Übernahmeverzerrungen bekommt. Dabei kann der OP natürlich nicht viel zur Verstärkung beitragen. Das übernimmt der ihm vorge-

Bild 168. Gegentakt-AB-Verstärker


Bild 169. Aufbaubild Gegentakt AB-Verstärker

schaltete zweite OP. Der dritte OP vor dem Lautstärkeregler gehört zu einem Sinusgenerator, mit dessen 700-Hz-Tonfrequenzspannung wir den Gegentaktverstärker ausprobieren wollen.

Wir bauen die Schaltung nach Bild 169 auf und schalten S_1 ein. Wenn wir P_1 aufdrehen, hören wir einen sauberen, sehr lauten Ton, der erst im Bereich über 75 mW (also ungefähr dem 8fachen unseres A-Verstärkers) übersteuert wird und grell klingt. (Ein auf Zimmerlautstärke eingestelltes Rundfunkgerät gibt nach der Norm 50 mW ab, und wir können uns jetzt vorstellen, welchen Krach der Kraftverstärker einer Hi-Fi-Anlage macht, die voll mit 50 W läuft, was allerdings nicht 1000, sondern nur $\sqrt{1000} = 32$mal so laut ist. Der Schalldruck ist nämlich nicht der Ausgangsleistung, sondern der Ausgangsspannung proportional.)

26.2 Bitte keine Ruhestörung

Nun wollen wir den im vorigen Kapitel besprochenen Gegentakt-Verstärker mit Vorstufe einmal als NF-Verstärker einsetzen, der uns Musik vom Plattenspieler, Tuner oder Kassettendeck wiedergibt. (NF heißt Niederfrequenz; das sind Schwingungen, die unser Ohr wahrnehmen kann, also Frequenzen von etwa 25 bis 16 000 Hz.) Bild 170 zeigt die Schaltung. Normalerweise verwenden wir den empfindlichen Eingang über C_1. Er hat einen Eingangswiderstand von ca. 10 kΩ und muß mit ca. 4,7 mV NF angesteuert werden, wenn der Lautsprecher 75 mW abgeben soll (Vollaussteuerung). Am Lautstärkeregler P_1 können wir leiser stellen.

Wir haben aber auch die Möglichkeit, den Vorverstärker mit S_2 wegzuschalten und dann über C_3 direkt an den die Gegentakt-Transistoren ansteuernden OP_2 zu gehen. Dann hat der Eingang ca. 100 kΩ Eingangswiderstand und benötigt zur Vollaussteuerung 433 mV NF, ist dabei im Gegensatz zum anderen Eingang bei voller Aussteuerung aber nicht ganz frei von Verzerrungen. Seine untere Grenzfrequenz liegt bei ca. 20 Hz.

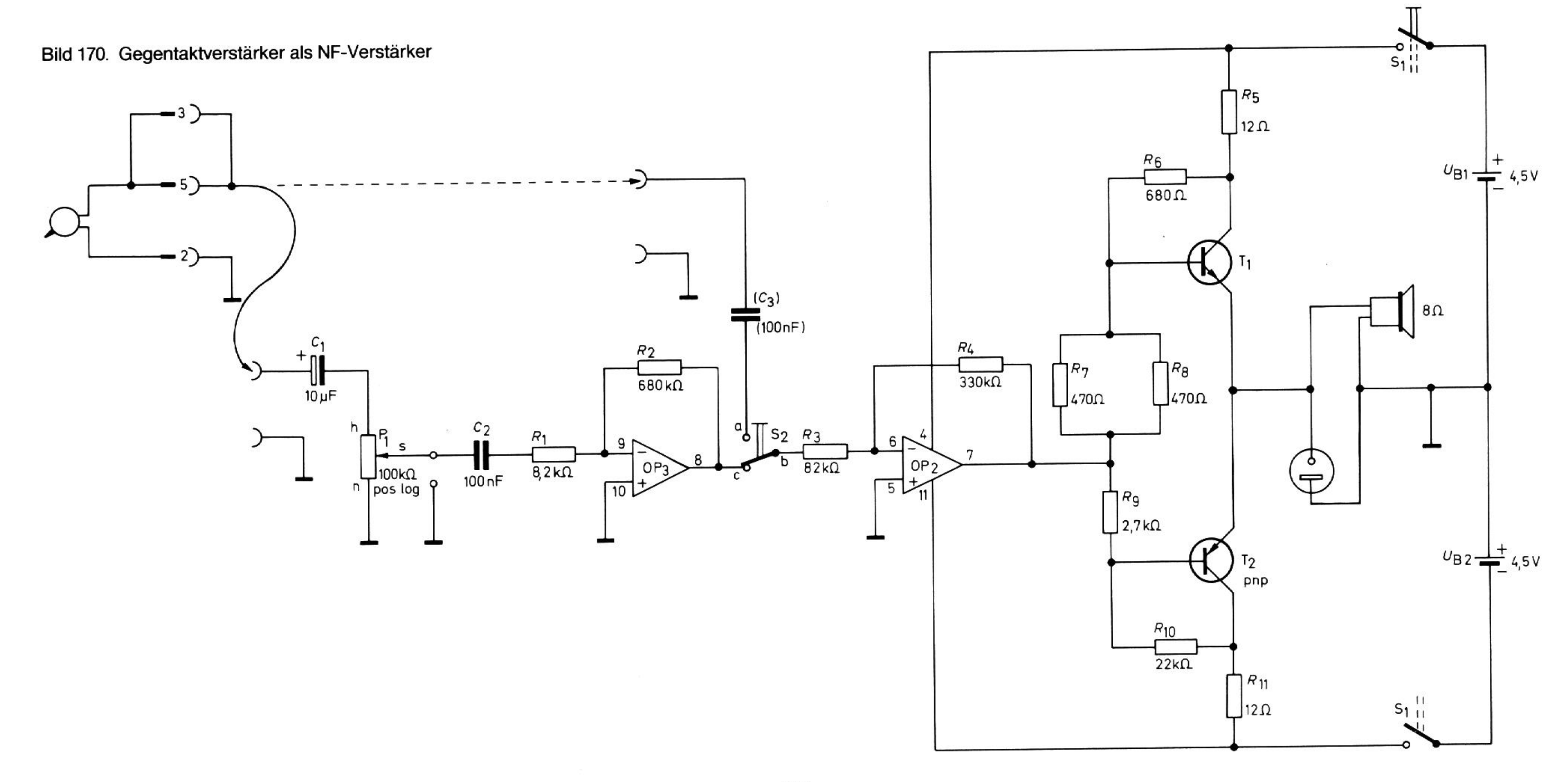


Bild 170. Gegentaktverstärker als NF-Verstärker

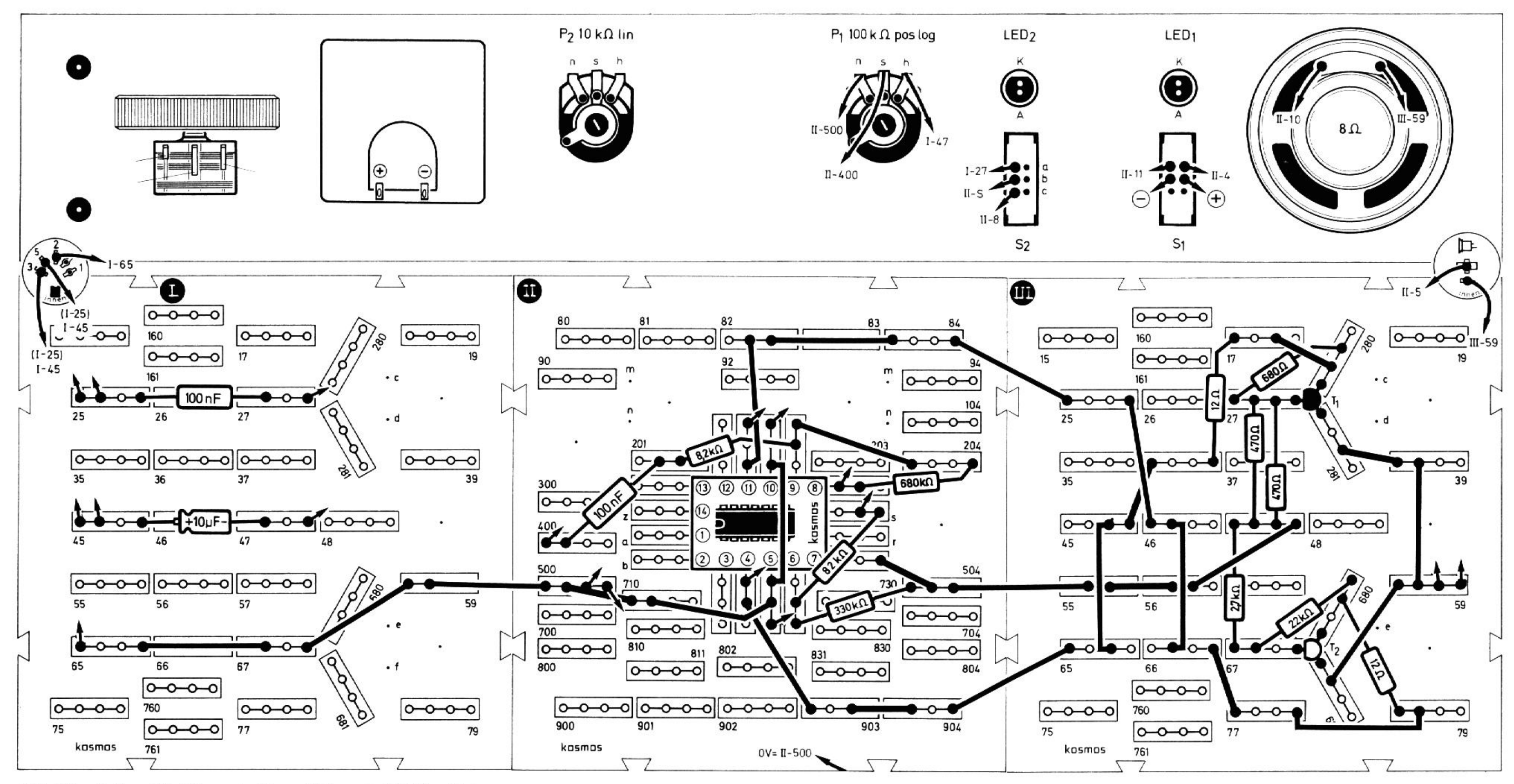


Bild 171. Aufbaubild Gegentaktverstärker als NF-Verstärker

Die obere Grenzfrequenz des Verstärkers mit empfindlichem Eingang liegt wie die des anderen Eingangs bei ca. 14 kHz. Frequenzen darüber werden nicht mehr so gut verstärkt. Die untere Grenzfrequenz des Verstärkers mit empfindlichem Eingang beträgt ca. 140 Hz. Frequenzen darunter werden schwächer verstärkt. Wenn wir zu C_2 noch zwei 100-nF-Kondensatoren parallelschalten, sinkt die untere Grenzfrequenz auf ca. 50 Hz ab, was wir mit unserem kleinen Lautsprecher, der sich wegen seines geringen Membrandurchmessers mehr für hohe Töne eignet, nicht merken werden.

Wenn wir an die Buchse, die parallel zu unserem Lautsprecher liegt, einen größeren Lautsprecher anschließen, werden wir den Unterschied hören können. Wir müssen aber aufpassen, daß wir unseren Gegentaktverstärker nicht mit Lautsprechern belasten, die weniger als 8 Ω haben. Wenn wir ei-

nen 8-Ω-Außenlautsprecher anschließen, klemmen wir den eigenbauten Lautsprecher besser ab.

Wir bauen die Schaltung nach Bild 171 auf. Normalerweise werden wir den empfindlichen Eingang verwenden. Dazu schalten wir S_2 nach unten. Außerdem verbinden wir die Kontakte 3 und 5 der 5poligen NF-Buchse mit I-45. Wollen wir einmal die Gegentaktverstärkerstufe allein betreiben, müssen wir S_2 nach oben schalten und die Kontakte 3 und 5 der 5poligen NF-Buchse mit I-25 verbinden (auf Bild 170 gestrichelt).

27. Kleines HF-Praktikum

27.1 Zwischen Sender und Empfänger

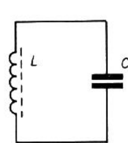
Wir wollen uns jetzt dem Rundfunkempfang zuwenden. Da interessiert natürlich: Wie überwinden die Rundfunksendungen den Raum zwischen Sender und Empfänger? Aus dem Kapitel über den Schwingkreis wissen wir, daß eine stromdurchflossene Spule von einem Kraftfeld umgeben ist und ein geladener Kondensator zwischen seinen Belägen (Platten) ein elektrisches Kraftfeld hat. Beide Felder durchsetzen den Raum, haben beim geschlossenen Schwingkreis aber keine Fernwirkung. Das elektrische Feld kann zwischen den dicht gepackten Kondensatorbelägen nicht herauskommen, und das magnetische Feld, das einen geschlossenen Stromkreis umgibt, hat eine räumliche Ausdehnung, die nur ein paar Durchmesser dieses Kreises beträgt.

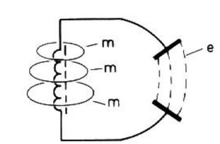
Wenn wir den Schwingkreis öffnen, ändert sich das: Bild 172 zeigt, wie beim Aufbiegen des Kondensators die elektrischen Kraftlinien (e) länger werden. Beim sogenannten offenen Schwingkreis werden die Kondensatorbeläge durch Antennendraht und Erde gebildet. Hier können die magnetischen Kraftlinien (m) sich wie Kreiswellen um einen ins Wasser geworfenen Stein nach allen Seiten ausbreiten. Dazwischen wandern die elektrischen Kraftlinien mit, so daß sich das ganze Feld von der Antenne löst und in Pfeilrichtung (b) in den Raum wandert. Moderne Sendeantennen haben keine waagerechten Drähte mehr, sondern sind selbstschwingende Masten, die ¼ der Wellenlänge hoch sind (Bild 173). Was hat es nun mit der Wellenlänge auf sich?

Wenn wir einen Stein ins Wasser werfen, entstehen kreisförmige Wasserwellen um die Einschlagstelle, die sich ausbreiten. Sie tun das mit ungefähr 2 m je Sekunde. Wenn der Topf mit der Fahne (Bild 174) von ihnen erreicht wird, schaukelt er mit der Frequenz der Wasserwellen auf und nieder. Haben die Wellen z. B. eine Frequenz von vier Schwingungen je Sekunde, so beträgt der Abstand zwischen zwei Wellenbergen 0,5 m. Diesen Abstand nennt man Wellenlänge. Sie errechnet sich, indem man Ausbreitungsgeschwindigkeit durch Frequenz teilt. Die elektromagnetischen Schwingungen breiten sich mit Lichtgeschwindigkeit aus, also mit 300 000 km/s. Ihre Wellenlänge erhalten wir nach Formel F 42, wobei λ das Formelzeichen für Wellenlänge ist (griechischer Kleinbuchstabe Lambda).

$$\lambda\,(\mathrm{m}) = \frac{300\,000\,(\mathrm{km/s})}{f\,(\mathrm{kHz})} \qquad \text{(F 42)}$$

Der Stuttgarter Sender hat bei einer Frequenz von 576 kHz also eine Wellenlänge von 520,83 m.





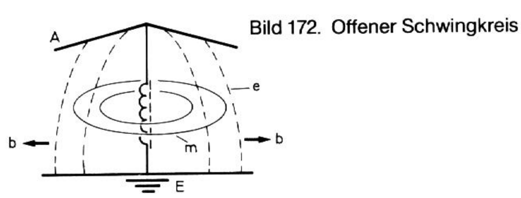


Bild 172. Offener Schwingkreis

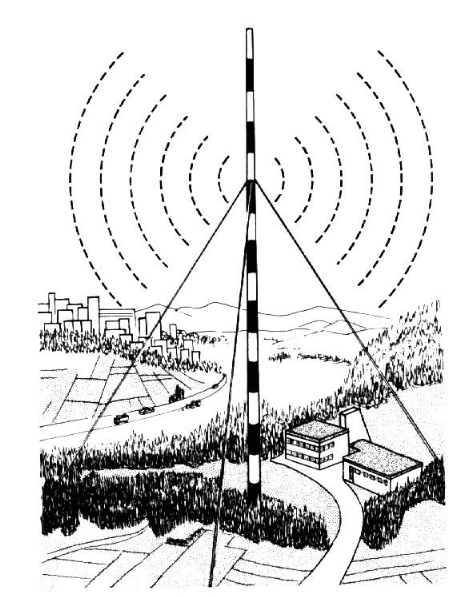


Bild 173. Ein selbstschwingender Sendemast

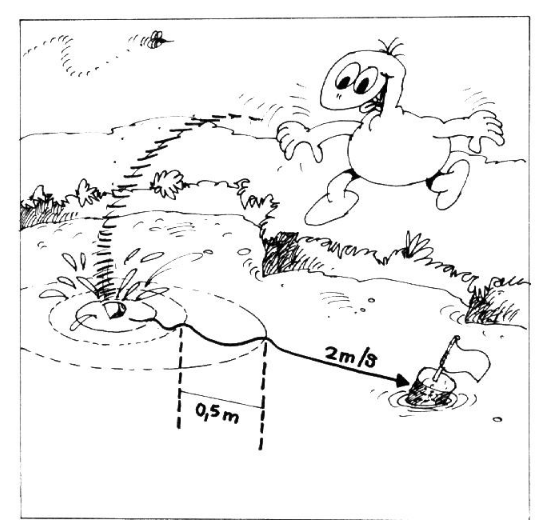


Bild 174. Frequenz, Wellenlänge und Ausbreitungsgeschwindigkeit hängen zusammen.

27.2 Badezimmer-Resonanz

Sicher haben wir im Badezimmer schon einmal gesungen, weil es da so schön hallt. Dabei haben wir vielleicht festgestellt, daß ein bestimmter Ton ganz besonders laut tönt, obwohl wir ihn auch nicht lauter singen als den Rest. Dieses Mitschwingen nennt man Resonanz. Auch Schwingkreise haben eine Resonanzfrequenz. Bieten wir einem Schwingkreis viele Frequenzen an, so wird er nur schwingen, wenn er seine eigene Resonanzfrequenz dabei findet. Das ist die Frequenz, die wir nach Formel F 42 berechnen können. So ist es also möglich, mit einem Schwingkreis aus einer Vielzahl gleichzeitig arbeitender Sender nur den zu empfangen, dessen Frequenz der Schwingkreis hat. Tabelle 8 gibt die Frequenzen einiger Rundfunksender wieder:

Tabelle 8: Frequenzen von Mittelwellensendern

Beromünster	531 kHz
Deutschlandfunk	549 kHz
Stuttgart	576 kHz
Frankfurt	594 kHz
Sottens/Schweiz	756 kHz
Nürnberg	801 kHz
München	909 kHz
Hamburg	971 kHz
Berlin	990 kHz
Südwestfunk	1017 kHz
Deutschlandfunk	1269 kHz
Saarbrücken	1422 kHz
Luxemburg	1440 kHz
Wien	1476 kHz
Deutschlandfunk	1539 kHz
Langenberg (WDR)	1593 kHz

Wie bringt man einen Schwingkreis zum Mitschwingen? Das Schema einer eleganten Methode zeigt Bild 175. Wir blicken von oben auf einen Sendemast, der sich als dicker Punkt in der Mitte des Bildes befindet. Er ist von Kreisen umgeben, welche die sich nach allen Seiten ausdehnenden magnetischen Kraftlinien darstellen. Wir sehen den Ferritstab F_1, der in Richtung dieser Kraftlinien liegt. Er kann so alle in der Nähe befindlichen Kraftlinien sammeln, weil er sie wesentlich besser „leitet" als der umgebende Raum.

Ist auf diesen Ferritstab eine Spule gewickelt, so entsteht durch Induktion zwischen ihren Anschlüssen eine Wechselspannung mit der Frequenz des Senders. Das elektrische Feld des Senders wird in diesem Fall nicht mitgenutzt, sondern nur das magnetische Feld. Für guten Empfang ist wichtig, daß der Ferritstab möglichst genau in Richtung der Kraftlinien ausgerichtet ist, also quer zu der Richtung steht, in der sich von ihm aus gesehen der Sender befindet. Zeigt er auf den Sender (Lage von F_2 auf Bild 175), so kann er vom Feld nicht induziert werden, und der Empfang bleibt aus.

Wenn wir wahlweise verschiedene Sender einstellen wollen, müssen wir die Resonanzfrequenz des Empfangsschwingkreises veränderlich machen. Das kann durch Verändern der Schwingkreiskapazität geschehen. Man benutzt dazu einen Drehkondensator (Drehko), dessen Platten sich so gegeneinander verdrehen lassen, daß die Fläche, auf der sich die Platten gegenüberstehen, veränderlich ist. Dadurch nimmt die Kapazität des Drehkos beim

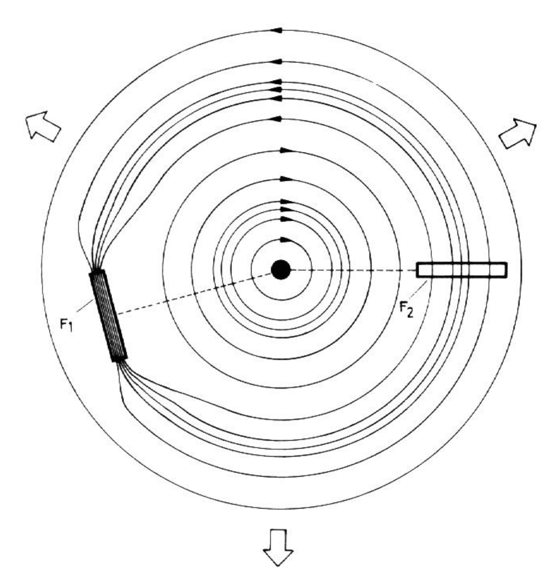


Bild 175. Bei richtiger Lage des Ferritstabes (F 1) induziert das magnetische Feld des Senders eine Spannung

„Eindrehen“ zu. Beträgt die Kapazitätszunahme, wie bei unserem Drehko, 201 pF, so sagt man, er habe ein $\Delta C = 201$ pF. Soll die Frequenz abnehmen, so muß die Kapazität zunehmen. Der Zusammenhang ist quadratisch: Die Frequenz sinkt zum Beispiel auf ein Drittel ihres Wertes, wenn die Kapazität um das Neunfache zunimmt.

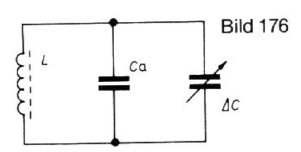


Bild 176

Bild 176 zeigt, daß jeder Schwingkreis eine Anfangskapazität C_a besitzt, die sich zusammensetzt aus den Kapazitäten der Verdrahtung, der Spulenwindungen gegeneinander und der Kapazität, die der ausgedrehte Drehko hat. Durch Eindrehen des Drehkos wird C_a dann um den Wert ΔC vergrößert. Die Anfangsfrequenz f_a eines Schwingkreises läßt sich nach Formel F 41 aus C_a und L berechnen, die Endfrequenz f_e nach Formel F 43:

$$f_e = \frac{f_a}{\sqrt{\frac{\Delta C}{C_a} + 1}} \qquad \text{(F43)}$$

Beispiel: Der Mittelwellenempfänger, den wir im nächsten Kapitel bauen wollen, hat mit $C_a =$ 43,13 pF und $L = 228\,\mu$H nach Formel F 41 eine $f_a = 1{,}605$ MHz (= 1605 kHz). Bei unserem Drehko mit $\Delta C = 201$ pF ergibt das nach Formel F 43 eine $f_e = 675$ kHz.

27.3 Wir hören Mittelwellen

Schon Großvater empfing mit seinem „Dampfradio“ Rundfunksendungen auf Mittelwellen (MW). Das ist der Frequenzbereich zwischen 1605 kHz und 525 kHz (siehe Tabelle 8). Bild 177, Seite 116, zeigt das Schaltbild eines MW-Empfängers. Wir haben den MW-Bereich unterteilt. Wenn S_2 nach unten geschaltet ist, können wir die Frequenzen zwischen 1605 kHz und 675 kHz empfangen (siehe voriges Kapitel). Steht S_2 oben, so vergrößert sich C_a durch Zuschalten von C_1 und C_2 auf 207,13 pF, was einen Empfangsbereich von 737 kHz bis 525 kHz ergibt.

Achtung! Wir dürfen Rundfunkempfänger nur in Betrieb nehmen, wenn im Haushalt eine gültige Rundfunkempfangsgenehmigung für Tonrundfunk vorhanden ist!

Die MW-Spule wickeln wir nach den Angaben in Teil III, Kapitel 69.1. Den Aufbau des MW-Empfängers zeigt Bild 178, Seite 117. Wir müssen die Leitungen ganz genau so stecken, wie es dort abgebildet ist. Würden wir zum Beispiel die mit d gekennzeichnete Lautsprecherleitung an anderer Stelle an Masse führen, so kann es passieren, daß das Gerät bei Zurückdrehen der Lautstärke einen Heulton von sich gibt. Die vielen freien Stellen auf den Platten sollen später eine Zusatzschaltung aufnehmen. Die gestrichelte Brücke Br_1 lassen wir weg. Antenne und Erde benutzen wir nur, wenn wir in ganz schlechter Empfangslage wohnen und ohne Antenne und Erde gar nichts hören können. Dann kommt die Erde an e und die Antenne an x.

Wir stellen P_2 in Mittelstellung und P_1 an den rechten Anschlag. Dann drehen wir den Drehko einmal bei S_2 oben und einmal bei S_2 unten ganz langsam durch. Kommt kein Sender, drehen wir P_2 weiter nach rechts und wiederholen den Suchvorgang. Bringen die Sender Pfeiftöne mit, deren Höhe sich beim Abstimmen ändert, drehen wir P_2 so weit nach links, bis das Pfeifen, das auch benachbarte Empfänger stört, gerade aussetzt. Dann ist die Empfindlichkeit des Empfängers ca. auf das 5fache gesteigert.

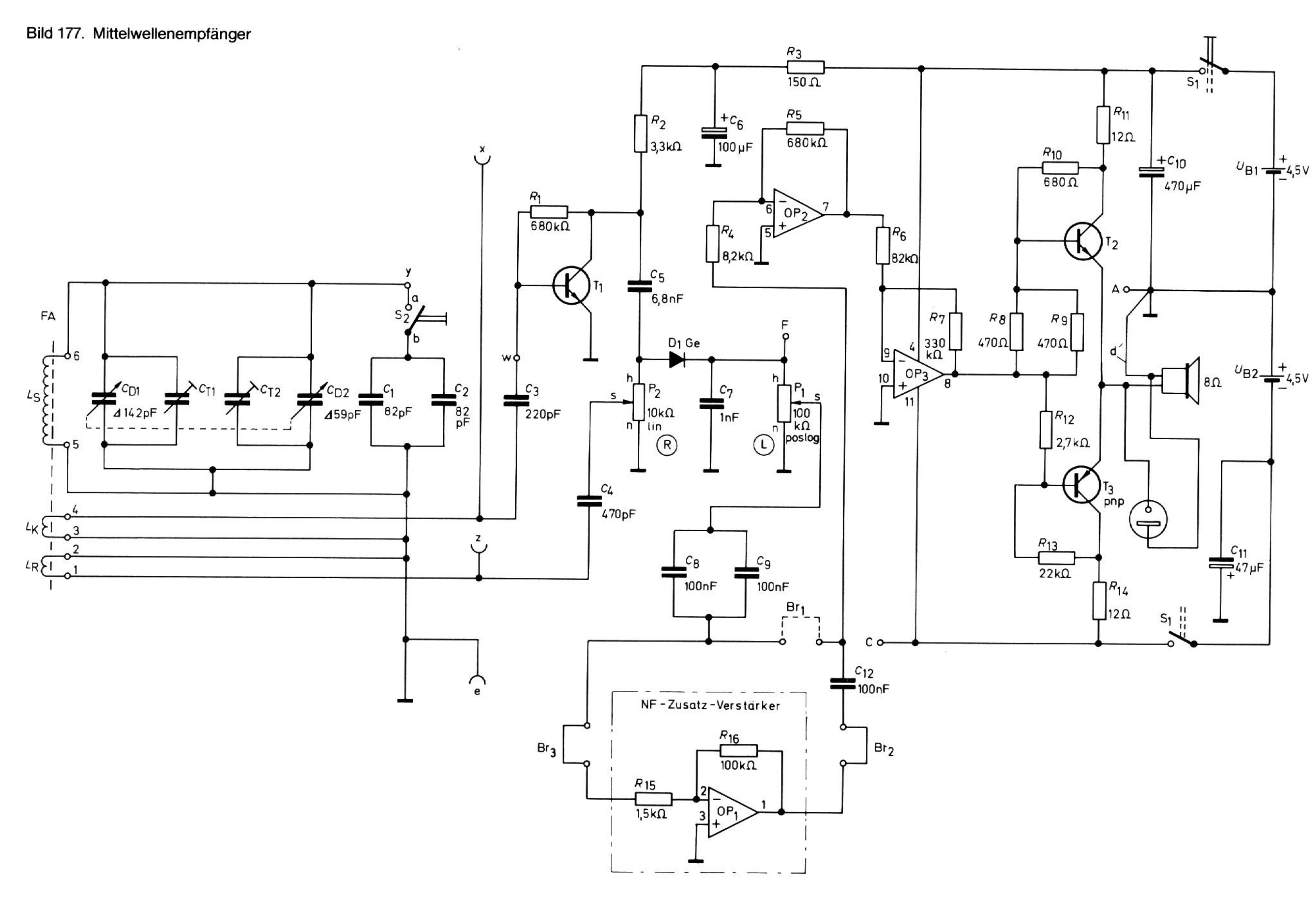
P_2 verändert nämlich den Rückkopplungseinsatz, der aus T_1, L_S, L_K und L_R bestehenden Schwingschaltung, die den Resonanzkreis entdämpfen, aber nicht schwingen lassen soll. Beim Feineinstellen von Sendern arbeiten wir mit beiden Händen: eine am Drehko, die andere an P_2.

P_1 ist der Lautstärkeregler, der bei ⅔-Einstellung ein Rausch-Minimum hat, bei dem man besonders gut hören kann. Wir können das Rauschen auch durch Abschalten des NF-Zusatzverstärkers (OP_1) zurücknehmen: Brücken Br_2 und Br_3 herausziehen und statt dessen Br_1 einsetzen. Normalerweise wollen wir aber mit NF-Zusatzverstärker hören, dann empfangen wir mehr Sender.

Stimmen die empfangenen Sender mit ihrer Frequenz nicht mit der Skalenteilung überein, prüfen wir, ob die Trimmer richtig stehen (siehe Teil III, Kapitel 61.1, Drehko-Montage). Es kann aber auch eine ungenau gewickelte Spule schuld sein. Zum Ausgleich können wir ihre Induktivität durch geringfügiges Verschieben des Wickels auf dem Ferritstab ändern, und zwar bringen wir einen Sender, dessen Frequenz uns bekannt ist, dadurch an die richtige Skalenstelle. Das sollte aber nur mit Sendern zwischen 700 kHz (= 0,7 MHz) und 900 kHz (= 0,9 MHz) bei S_2 unten geschehen, notfalls auch mit Sendern zwischen 550 kHz (= 0,55 MHz) und 600 kHz (= 0,6 MHz) bei S_2 oben.

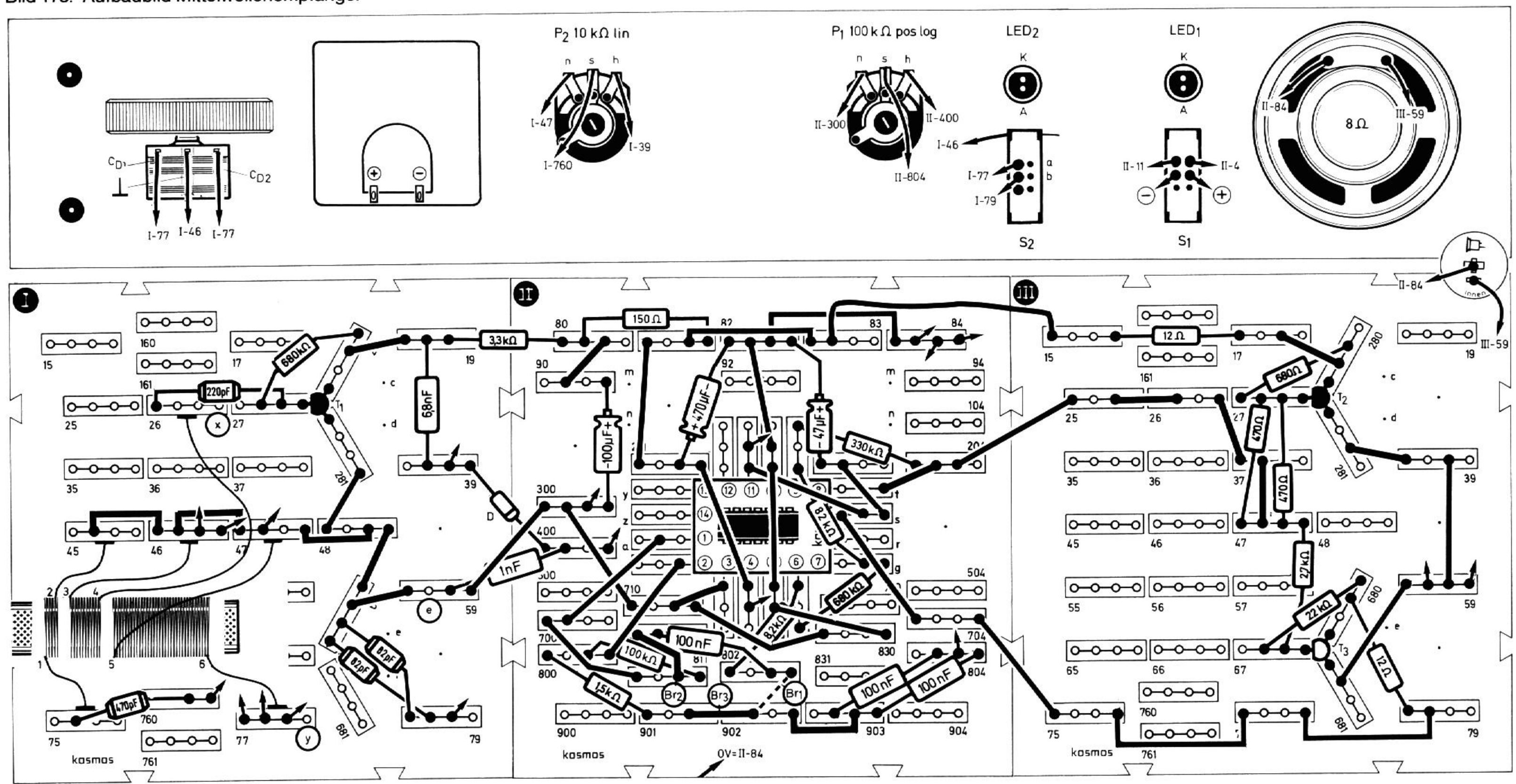
Oft läßt sich der Empfang schwacher Sender verbessern, wenn wir den Empfänger drehen. Das ist nach dem, was wir aus Bild 175 gelernt haben, ver-

Bild 177. Mittelwellenempfänger



ständlich. Stören sich zwei benachbarte Sender, so kann man unter Umständen durch Drehen des Gerätes den Störsender „ausblenden".
Wir versuchen noch, eine Empfangsverbesserung durch Anschluß von Antenne und Erde herbeizuführen. Erde kommt an Anschluß e. Antenne zunächst an Anschluß x. Dadurch leidet gewöhnlich die Trennschärfe, so daß Sender, die ohne Antenne und Erde empfangen werden, dann nicht mehr so gut zu hören sind. Umstecken der Antenne an Punkt y bringt manchmal einen brauchbaren Kompromiß.

Bild 178. Aufbaubild Mittelwellenempfänger



27.4 Wie die Rundfunkwellen Musik transportieren

Bild 179 zeigt links die NF-Schwingung, die vom Studio-Mikrofon des Senders kommt. In der Mitte sehen wir die ungedämpfte Schwingung, die der Sendemast abstrahlt, wenn in einer Programmpause gerade keine NF vom Studio kommt. Rechts erkennen wir, wie die vom Sendemast abgestrahlte HF im Takte der NF schwankt. Die Sendestärke wird im Takte der NF stärker und schwächer. Die Schwingungsweite (Amplitude) der einzelnen HF-Schwingungen wird also von der NF verändert (moduliert). Man nennt dieses Aufprägen einer NF auf die „Trägerschwingung" des Senders daher Amplitudenmodulation (AM).

Auf der Empfangsseite wird die NF wieder von der Träger-HF getrennt, was man Demodulation nennt. Zwischen den Anschlüssen des Empfangskreises steht die AM-Spannung (bei unserem Empfänger wird sie über T_1 verstärkt). Dann steht am Eingang der Demodulatorschaltung das AM-Signal, wie es Bild 180 links zeigt. In der Mitte von Bild 180 sehen wir die Prinzipschaltung eines AM-Demodulators. Es handelt sich um einen ganz einfachen Einweggleichrichter.

Nach der Diode wird die positive Halbwelle vom Ladekondensator C_L gespeichert. Er kann sich aber nicht auf die Spitzenspannung der höchsten Amplitude aufladen, weil über R immer wieder Ladung abfließt. So folgt die Spannung von C_L den

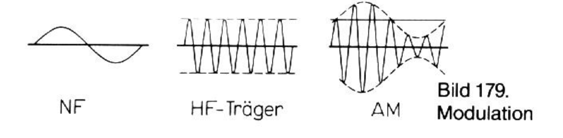
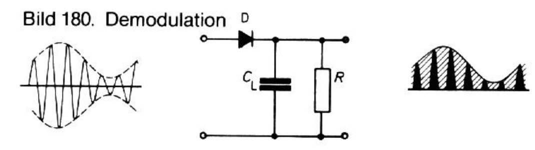


Bild 179. Modulation

Bild 180. Demodulation



Schwankungen der Modulation, und an C steht eine im Takte der NF schwankende Gleichspannung (Bild 180 rechts). Bei unserem Empfänger ist C_7 der C_L, und P_1 dient als R.

27.5 Funkpeilung mit Rundfunksendern

Die durchschnittliche Spannung an C_7 unseres MW-Empfängers richtet sich danach, ob ein Sender stark oder schwach einfällt, wie groß also seine Feldstärke am Empfangsort ist. Wenn wir unser Meßinstrument über OP_4 als Meßverstärker zum Gleichspannungs-Millivoltmeter machen, können wir diese Spannung messen. Bild 181 zeigt die Schaltung (Aufbau nach Bild 182). Wenn wir sie benutzen wollen, müssen wir mit Zusatz-NF-Verstärkung (OP_1) arbeiten, weil sonst die Rückkopplung so stark eingestellt werden muß, daß es die Anzeige stört. (Beim Einsetzen der Rückkopplung wird das Meßinstrument überlastet, weil es dann die Eigenschwingungen von T_1 anzeigt.)

Wir ergänzen unseren MW-Empfänger von Bild 178 nach dem Bild 182 a. Dann versuchen wir, die Null-

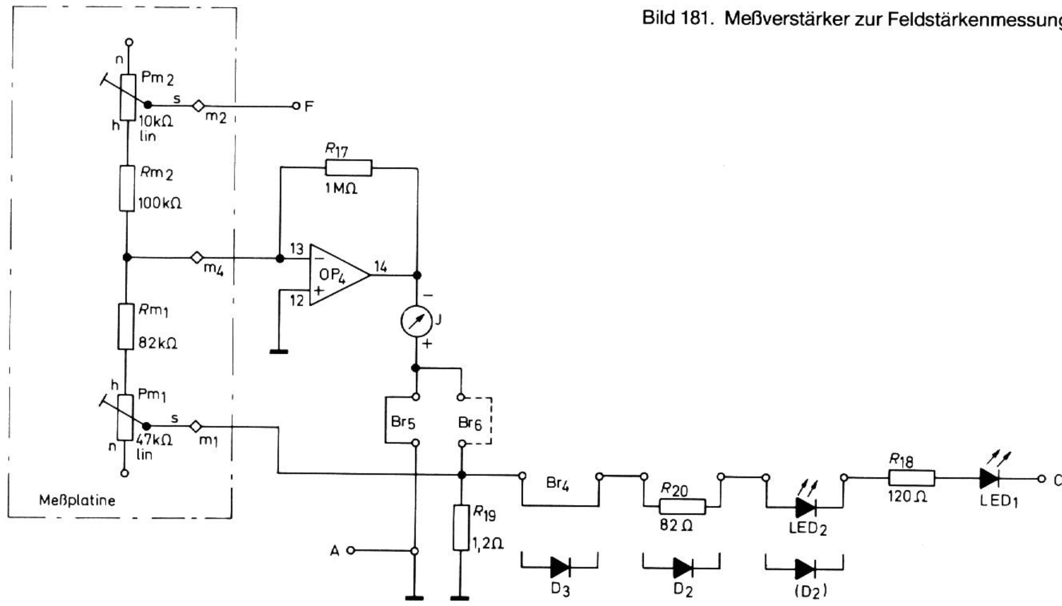


Bild 181. Meßverstärker zur Feldstärkenmessung

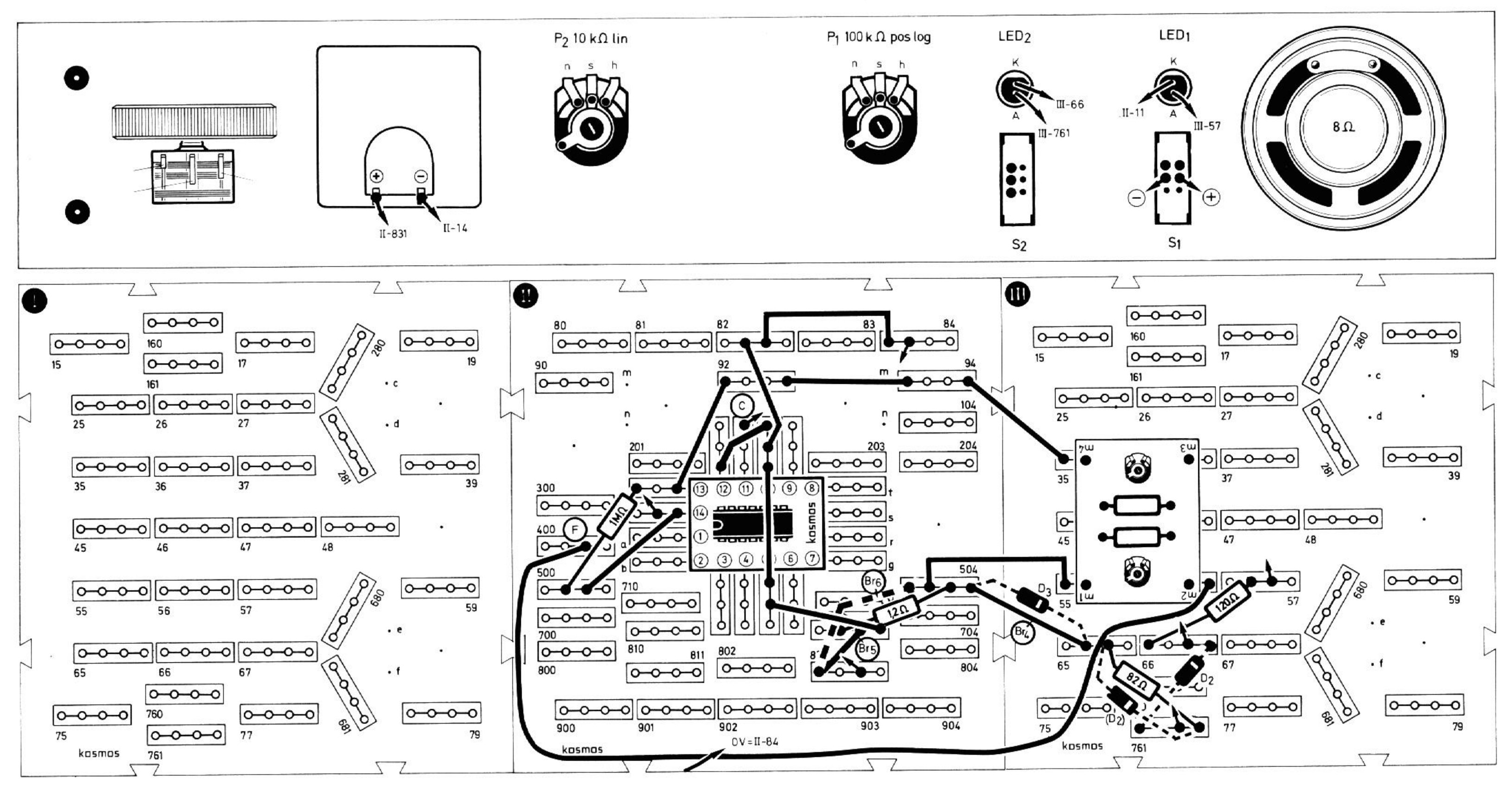


Bild 182. Aufbaubild Meßverstärker zur Feldstärkemessung

anzeige so gut wie möglich einzustellen. Das ist wegen der Toleranzen nicht immer ganz exakt zu schaffen. Wir gehen wie folgt vor:

1) Rückkopplung (P_2) ganz an linken Anschlag stellen. Drehko so einstellen, daß kein Sender einfällt. Nachsehen, ob Zeiger dicht bei Null steht. Versuchen, ihn noch näher an Nullstellung zu trimmen. Dazu
2) Brücke Br_5 ziehen und statt dessen Brücke Br_6 einsetzen. Oder
3) statt LED_2 die Diode D_2 einsetzen. Oder
4) Brücke Br_4 durch D_2 ersetzen. Oder
5) R_{20} durch D_3 ersetzen.

Eventuell sind zwei Verfahren zu kombinieren.

Nun suchen wir einen Sender, der möglichst stark ist, so daß wir wenig Rückkopplung brauchen. Wir drehen das Gerät und stellen fest, in welcher Stel-

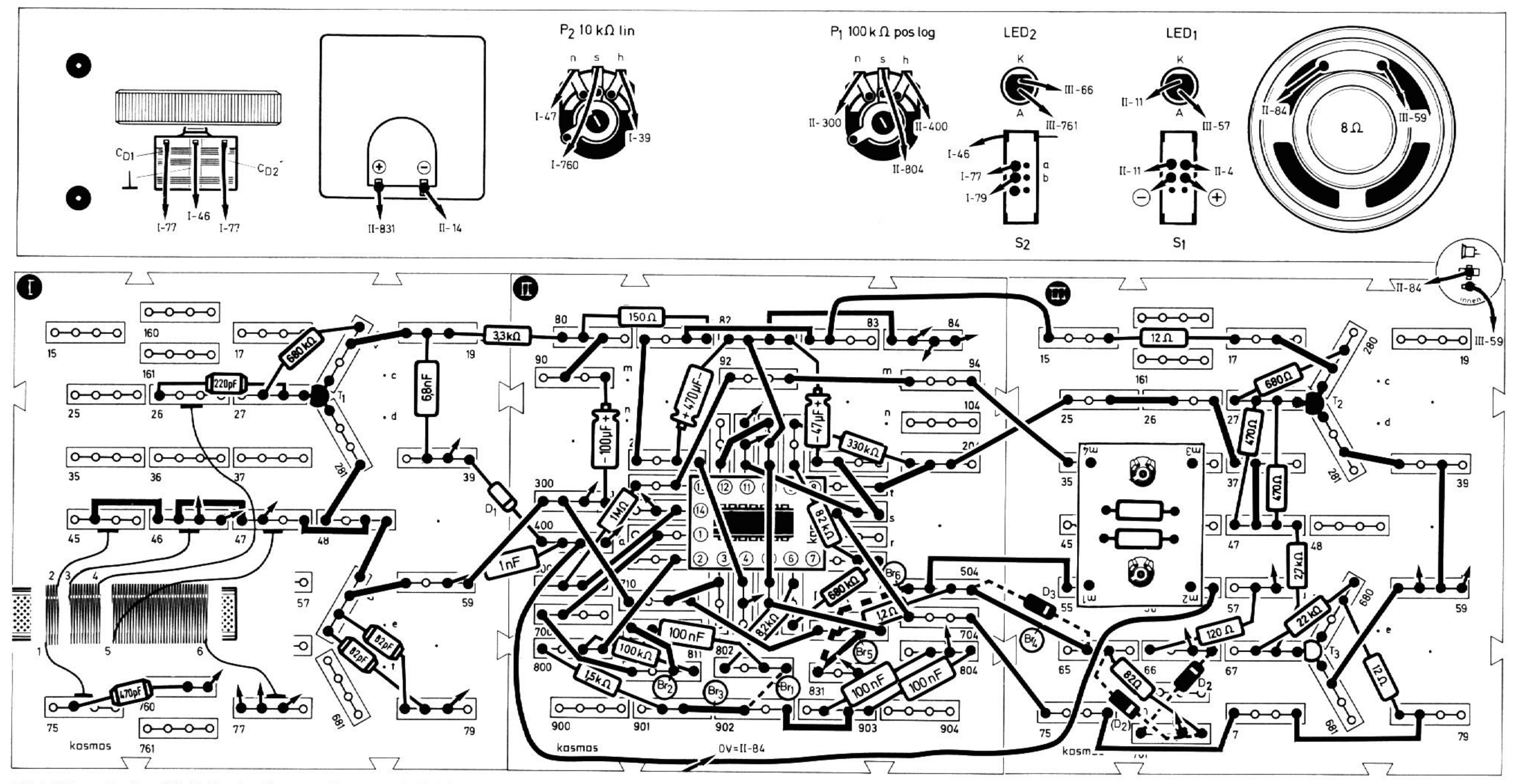


Bild 182 a. Aufbaubild Mittelwellenempfänger mit Feldstärkemesser

lung der Zeiger am weitesten ausschlägt. Dann stellen wir einen anderen Sender ein und suchen auch sein Maximum. Wenn die Rückkopplung nicht zu stark eingestellt war und zwischen beiden Messungen nicht verändert wurde, kann man so einen Feldstärkevergleich durchführen.

Bei der Funkpeilung dreht man das Gerät, bis ein Minimum angezeigt wird, weil sich ein Minimum akustisch leichter finden läßt als das Maximum. Außerdem zeigt der Ferritstab beim Minimum auf den Sender. Man weiß bloß nicht, mit welcher Seite er auf den Sender zeigt. (Bei großen Schiffspeilern wird dann eine Hilfsantenne zugeschaltet, wodurch die beiden Minima verschieden stark ausfallen. So kann man dort den Ferritstab mit „vorn" und „hinten" kennzeichnen, wenn man das einmal mit einem Sender durchgeführt hat, dessen Lage man kennt und immer dieselbe Hilfsantenne benutzt.)

27.6 Kurzwellenempfang

Bild 183 zeigt, wie die von einem Kurzwellensender S abgestrahlte, sehr hochfrequente Sendeleistung sich in Bodenwelle (B) und Raumwelle (R_{WT} und R_{WN}) aufteilt. Die Bodenwelle reicht nicht weit. Anders die Raumwelle. Sie wird von den oberen Luftschichten reflektiert, wenn diese durch die Sonnenstrahlung ionisiert sind. Die ionisierte Schicht heißt Heavisideschicht. Tags und im Sommer, wenn die Sonneneinstrahlung länger einwirkt, ist der Abstand zwischen Erdoberfläche und dieser Schicht geringer als nachts oder im Winter. Da der Abstrahlwinkel für kurze Kurzwellen anders ist als für längere Kurzwellen, ist die Reichweite der Kurzwellen tages- und jahreszeitabhängig.

Wie Bild 183 zeigt, kehren die an der höheren Schicht reflektierten Raumwellen (R_{WN}) weiter entfernt vom Sender zur Erde zurück. Weite Entfernungen zu anderen Kontinenten werden durch mehrfaches Reflektieren überwunden.

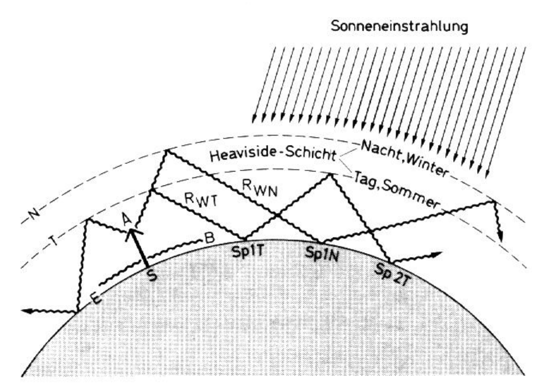


Bild 183. Zur Ausbreitung von Kurzwellen

Der Kurzwellenbereich enthält verschiedene „Bänder", das sind Bereiche, in denen man Rundfunksender finden kann. Für uns sind die in Tabelle 9 aufgeführten Bänder interessant. Diese Bänder sind nach Wellenlängen benannt, wobei etwas großzügig verfahren wurde: Ein Nachrechnen zeigt, daß die angegebene Meterzahl nicht immer exakt in das zugehörige Band fällt.

Tabelle 9: Bänder des Kurzwellenbereichs

49-m-Band	5,950 MHz ... 6,200 MHz
41-m-Band	7,100 MHz ... 7,300 MHz
31-m-Band	9,500 MHz ... 9,775 MHz
25-m-Band	11,700 MHz ... 11,975 MHz

Für unsere Zwecke eignen sich die Nacht- und Winterbänder 49 m und 41 m sowie die Dämmerungs- und Tagbänder 31 m und 25 m besonders gut. Es ist wichtig zu wissen, daß man bei abendlichen Versuchen im Winter auf 25 m oder 31 m vielleicht gar nichts hört. Das liegt dann eben an der Tageszeit und nicht am Empfänger.

Wenn wir eine KW-Spule nach Teil III, Kapitel 69.4, wickeln, können wir den MW-Empfänger in einen KW-Empfänger verwandeln. Die Änderung bezieht sich auf Platte I und einige Poti- und Schalteranschlüsse. Bild 184, Seite 122, zeigt die Schaltung des KW-Empfängers. Die Umschaltung funktioniert diesmal anders. S_2 unten schaltet beide Drehko-Hälften zusammen, so daß wir wieder ein ΔC von 201 pF haben. C_a beträgt in diesem Fall 41 pF und $L = 4{,}0\,\mu$H. Das ergibt einen Empfangsbereich von 12,428 MHz bis 5,115 kHz. Schalten wir S_2 nach oben, ist nur noch der kleinere Drehko-Teil wirksam, der ein $\Delta C = 59$ pF hat. Durch die Schalterverdrahtung, die sich zur Spule schlägt, haben wir jetzt nur noch $C_a = 35$ pF und ein $L = 3{,}6\,\mu$H, also einen Empfangsbereich von 14,179 MHz bis 8,625 MHz.

Beim Aufbau richten wir uns exakt nach Bild 185, Seite 123. Die leere Leitung S_{2a} nach y muß vorhanden sein, weil ihre Kapazität den Rückkopplungseinsatz verbessert. Wir schließen S_2 zuletzt an, damit seine Leitungen lose obenauf liegen. (Die Anzeigeschaltung bauen wir, falls vorhanden, ab.) Wir achten darauf, daß die KW-Spule ohne Ferritkern verwendet werden muß! Außerdem müssen Antenne bei a und Erde bei e eingesteckt sein.

Wir beginnen unseren Streifzug nach dem Einschalten mit S_2 unten im 49-m-Band. (Es läßt sich leichter finden, wenn der Skalenknopf so montiert ist, daß die KW-Skala vorn ist.) Sehr rasch werden wir uns daran gewöhnen, daß die Rückkopplung sehr hart angezogen werden und dabei doch feinfühlig bedient werden muß; denn die Sender liegen sehr dicht beieinander. Auch sollten wir immer mit dem NF-Zusatzverstärker arbeiten, sonst ist es zu leise. Das 31-m- und 25-m-Band hören wir besser in Stellung S_2 oben. (Die Skalen stimmen nur bei ausgedrehten Trimmern!)

Wenn wir direkt neben dem 41-m-Band Stimmen hören, die keiner Rundfunksendung entstammen, handelt es sich um Sendungen lizenzierter Funkamateure, denen ja das 40-m-Band (7,0–7,1 MHz) zugewiesen ist. Die Brauchbarkeit der Kurzwellen für Weitverbindungen wurde übrigens in den 20er Jahren von Funkamateuren entdeckt. Weil Kurzwellen wegen der geringen Reichweite ihrer Bodenwellen für Rundfunk-Nahversorgung nicht taugen, gab man damals alle Frequenzen über 3 MHz zum Experimentieren frei. Als Funkamateure mit wenigen Watt Sendeleistung zufällig eine Verbindung über Tausende Kilometer herstellten, waren die Raumwellen entdeckt.

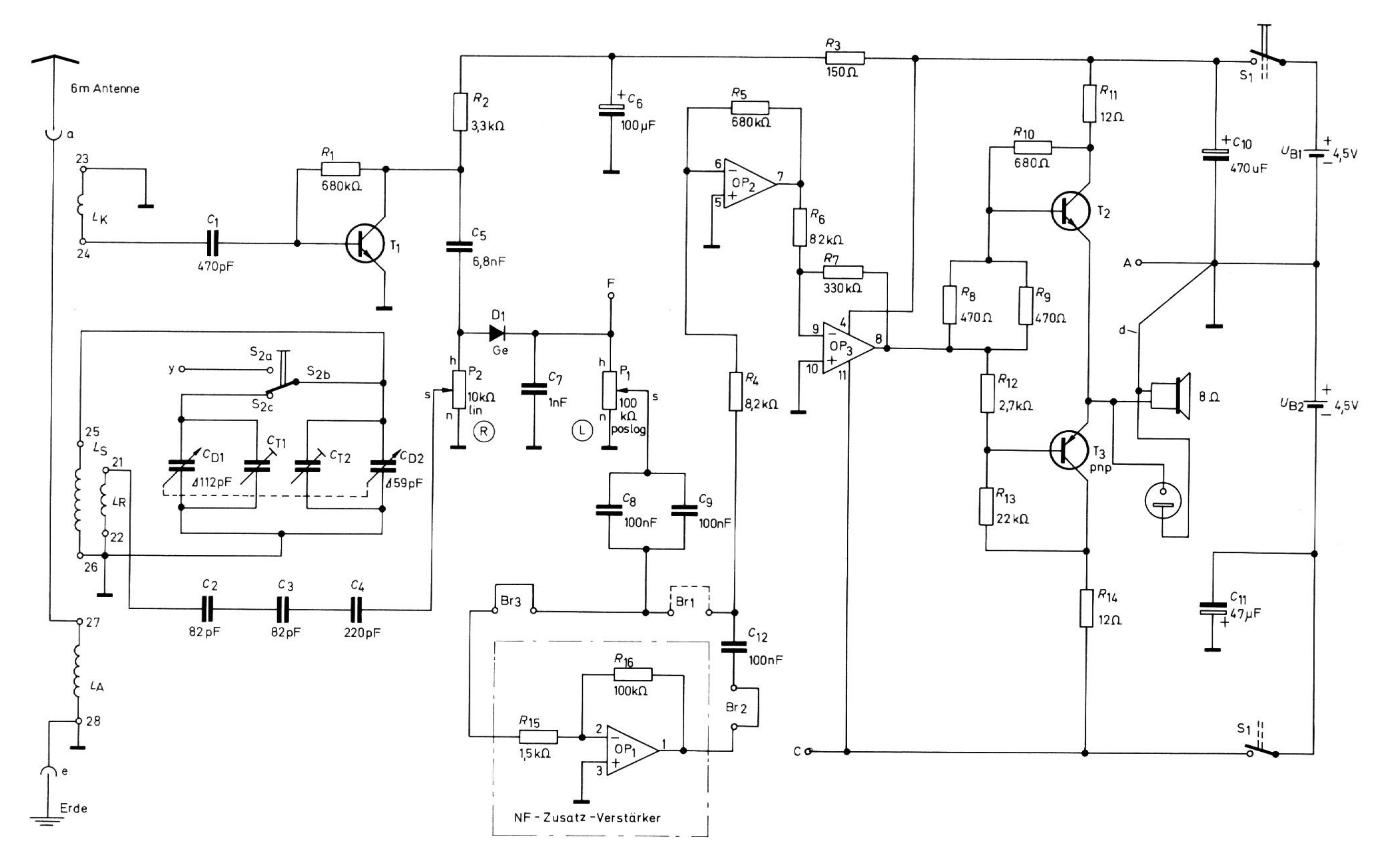


Bild 184. Kurzwellenempfänger

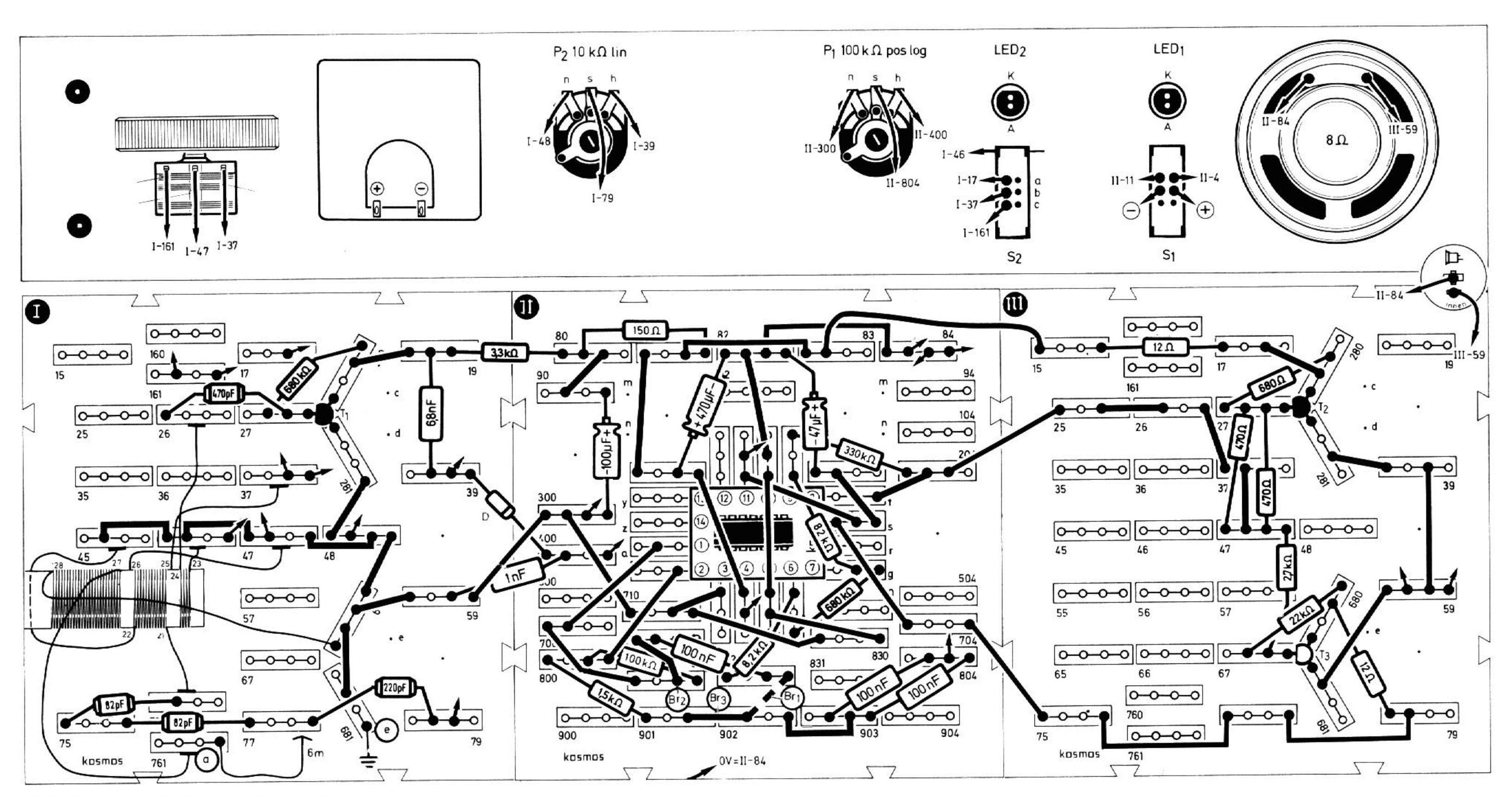


Bild 185. Aufbaubild Kurzwellenempfänger

27.7 Wie man Frequenzen mischt

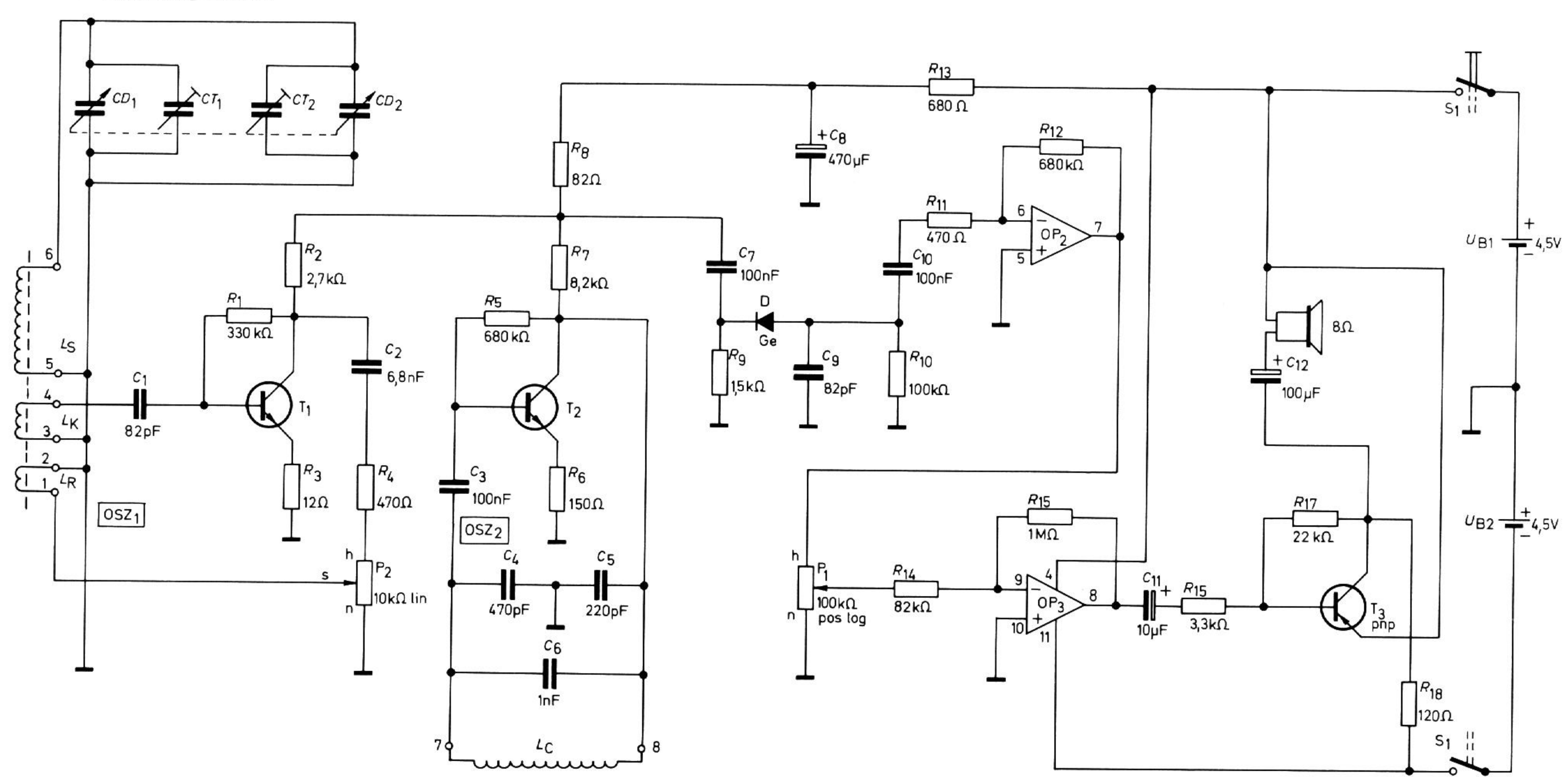
Bild 189, Seite 126, zeigt, wie das Mischen von zwei Hochfrequenzen, deren Augenblickswerte sich addieren, zu einer AM-Hochfrequenz führt. Die Hüllkurve entspricht dabei der Differenzfrequenz beider Hochfrequenzen.

Die Schaltung zeigt Bild 186. Wir sehen, daß die eine HF im Oszillator OSZ_1 und die andere im Oszillator OSZ_2 erzeugt wird. Die Addition erfolgt am Arbeitswiderstand R_8 und gelangt zur Demodulatorstufe, die wieder eine Einweggleichrichtung ist. Hier wird die negative Halbwelle ausgenutzt. Diese Schaltung wird Schwebungssummer genannt, weil das Mischergebnis zweier dicht benachbarter Frequenzen Schwebung heißt.

Wir wickeln die Spule für den Schwebungssummer nach den Angaben in Teil III, Kapitel 69.2. Dann bauen wir die Schaltung nach Bild 187 auf.

Nach Einschalten von S_1 bringen wir den Oszillator

Bild 186. Schwebungssummer



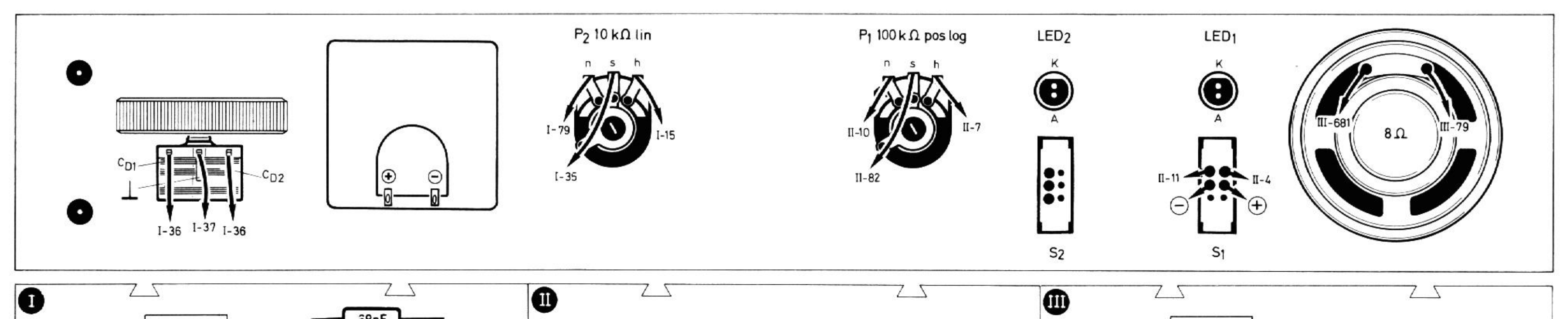


Bild 187. Aufbaubild Schwebungssummer

OSZ_1 durch Verstellen von P_2 zum Schwingen und drehen den Drehko durch, bis wir ein Pfeifen hören. Wir stellen P_2 nicht zu stark ein, damit der Ton weich klingt. P_1 ist der Lautstärkeregler.

Bild 188 zeigt die Kurve für die Tonhöhe. Dort, wo beide Hochfrequenzen gleich groß sind, wird ihre

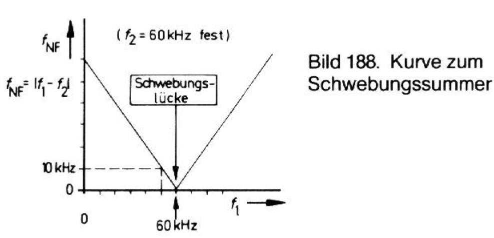


Bild 188. Kurve zum Schwebungssummer

Differenz Null, und es ist keine NF zu hören, der Ton verschwindet nach unten in der sogenannten Schwebungslücke. Nach beiden Seiten steigt er gleichmäßig an. Die Formel F 44 für die Tonhöhe lautet:

$$f_{NF} = f_1 - f_2 \qquad \text{(F 44)}$$

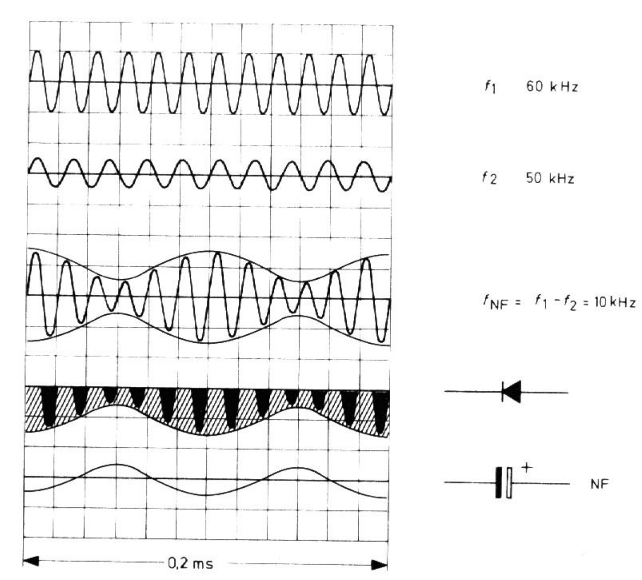


Bild 189. Mischen zweier Hochfrequenzen (s. S. 124)

Eine UKW-Experimentierschaltung befindet sich auf den Seiten 216 – 218.

28. Digitaltechnik in Theorie und Praxis

Die Digitaltechnik ist eine „arme Wissenschaft"; sie begnügt sich mit der Darstellung zweier Zustände, z. B.

Spannung oder keine Spannung,
Strom oder kein Strom,
Lämpchen brennt oder Lämpchen brennt nicht,
wahr oder nicht wahr.

Diese „Armut" hat jedoch wegen der leichten Handhabung in elektronischen Systemen dem Digitalrechner, heute einfach Computer genannt, zu einem Siegeszug ohnegleichen verholfen. Die elektronischen „Wunderdinge" unserer Zeit, z. B. Taschenrechner und Digitaluhr, wären ohne Digitaltechnik nicht denkbar.

Im folgenden werden einfache Computer-Elemente besprochen; in großen Anlagen kommen solche Grundbausteine tausend- und millionenfach vor.

Aus einem hochinteressanten Zweig der Mathematik, der sogenannten Booleschen Algebra, stammen die oben genannten Begriffe „wahr" und „unwahr". In der Computer-Praxis werden statt dessen gewöhnlich die englischen Ausdrücke „high" (H) für Spannung vorhanden oder Lampe leuchtet oder Taste ist gedrückt, und „low" (L) für Spannung 0 Volt oder Lampe ist dunkel oder Taste ist nicht gedrückt, verwendet.

Ein „Computer-Element" mit zwei Tasten zeigt Abb. 190. Man kann nun die eine oder die andere Taste drücken oder beide gleichzeitig oder gar keine. Wie die Leuchtdiode jeweils reagiert, hängt vom Innenleben des Computer-Elementes ab und wird in Tabelle 10, der sogenannten Wahrheits-Tabelle, dargestellt.

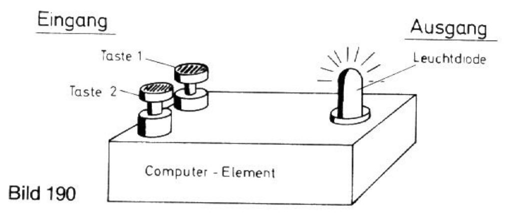


Bild 190

Tabelle 10: Wahrheitstabellen zu Bild 190

(Möglichkeit 1):

Taste 1	Taste 2	Leuchtdiode
L (nicht gedr.)	L (nicht gedr.)	L (leuchtet nicht)
H (gedrückt)	L (nicht gedr.)	H (leuchtet)
L (nicht gedr.)	H (gedrückt)	H (leuchtet)
H (gedrückt)	H (gedrückt)	H (leuchtet)

(Möglichkeit 2):

Taste 1	Taste 2	Leuchtdiode
L (nicht gedr.)	L (nicht gedr.)	L (leuchtet nicht)
H (gedrückt)	L (nicht gedr.)	L (leuchtet nicht)
L (nicht gedr.)	H (gedrückt)	L (leuchtet nicht)
H (gedrückt)	H (gedrückt)	H (leuchtet)

Für das Computer-Element gemäß der ersten Wahrheits-Tabelle gibt es ein Schaltsymbol (Bild 191):



Bild 191. ODER-Gatter

Im Schaltsymbol sind die Taster und die Leuchtdiode nicht berücksichtigt. Diese müssen noch zugeschaltet werden (Bild 192):

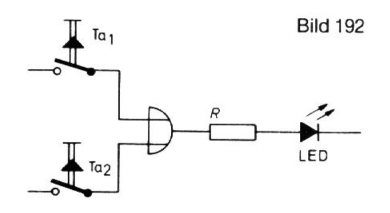


Bild 192

Das Element heißt ODER-Gatter (engl. OR-Gate) und hat folgende Funktion:

> Legt man Eingang a *oder* Eingang b auf „high" (H), dann ist der Ausgang A ebenfalls „high" (H).

Das Element nach der zweiten Wahrheits-Tabelle heißt UND-Gatter (engl. AND-Gate; Bild 193):



Bild 193. UND-Gatter

Es hat die Funktion:

> Nur wenn sowohl an Eingang a als auch an Eingang b „high" (H) liegt, dann ist auch Ausgang A „high" (H).

Neben den beiden genannten Gattern gibt es noch vier wichtige Grundelemente, deren Funktionen ohne weiteres anhand der folgenden Wahrheits-Tabellen verstanden werden können

Tabelle 11: Wahrheitstabellen verschiedener Gatter

a	b	A
L	L	H
H	L	H
L	H	H
H	H	L

Bild 194 UND-NICHT-Gatter (NAND-Gate)

a	b	A
L	L	H
H	L	L
L	H	L
H	H	L

Bild 195 ODER-NICHT-Gatter (NOR-Gate)

a	A
L	L
H	H

Bild 196 JA-SCHALTUNG (Verstärker)

a	A
L	H
H	L

Bild 197 NEIN-SCHALTUNG (INVERTER)

Heutzutage werden Gatter im allgemeinen als Integrierte Schaltungen ausgeführt, d. h. viele Gatter auf einem winzigen, nur wenige Quadratmillimeter großen Silizium-Plättchen angeordnet und mit einer Formmasse umpreßt. Ein vierfach UND-Gatter hat dann z. B. dasselbe Aussehen wie unser Operationsverstärker-Käfer.

Ein Gatter für sich allein, bei dem nur eine Leuchtdiode ein- und ausgeschaltet wird, scheint nicht sehr attraktiv zu sein. Betrachten wir deshalb zwei kleine Beispiele aus der Praxis.

Beispiel 1:

Die Heizung einer Waschmaschine darf nur eingeschaltet werden, wenn

- die Tür geschlossen ist,

und – das Wasser eingelaufen ist,

und – der betreffende Programmschritt eingeschaltet ist.

Diese Bedingungen erfüllt ein UND-Gatter mit drei Eingängen (Bild 198).

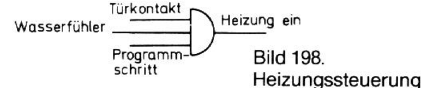


Bild 198. Heizungssteuerung

Beispiel 2:

Die Schleuder der Waschmaschine soll in Gang gesetzt werden, wenn

- der betreffende Programmschritt erreicht ist,

oder – wenn man die Handsteuerung betätigt; die Handsteuerung darf jedoch nur funktionieren, wenn

- die Heizung ausgeschaltet ist,

und – das Wasser abgepumpt ist.

Für diese Bedingungen werden ein ODER-Gatter, zwei Inverter und ein UND-Gatter benötigt (Bild 198 a).

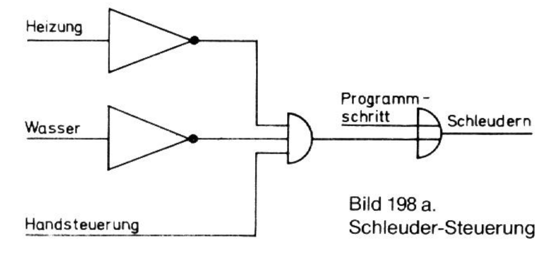


Bild 198 a. Schleuder-Steuerung

Wie man verschiedene Gatter mit den Mitteln unserer Experimentierausrüstung verwirklichen kann, zeigt die nachfolgende Schaltungssammlung (Bild 199 a–e).

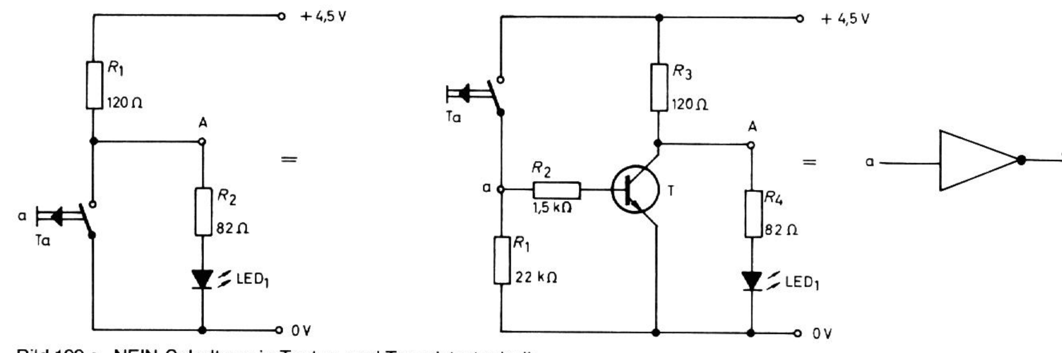


Bild 199 a. NEIN-Schaltung in Taster- und Transistortechnik

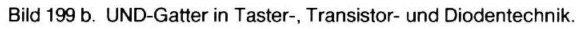


Bild 199 b. UND-Gatter in Taster-, Transistor- und Diodentechnik.

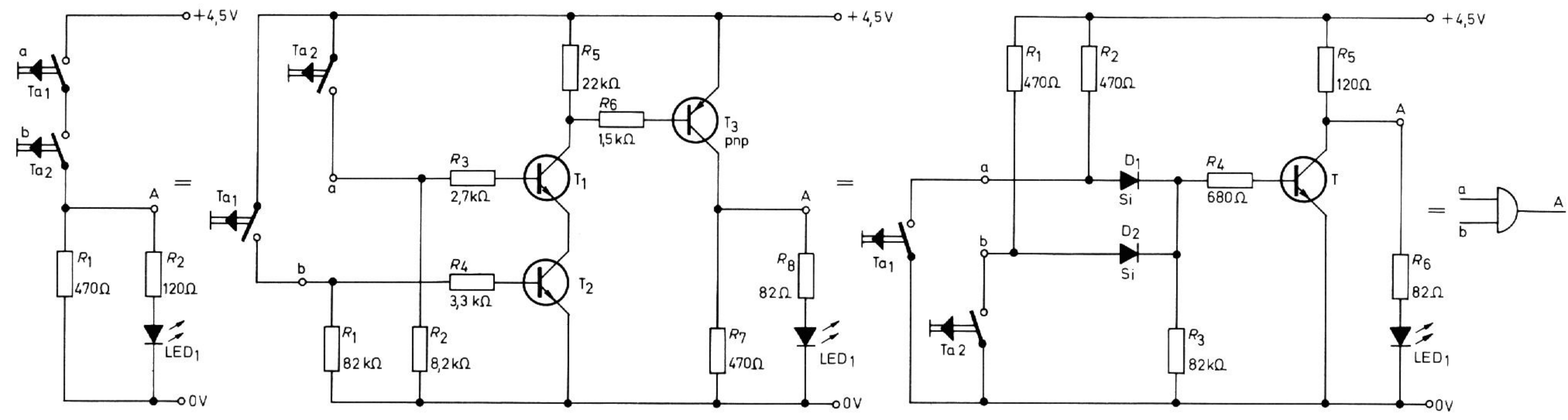
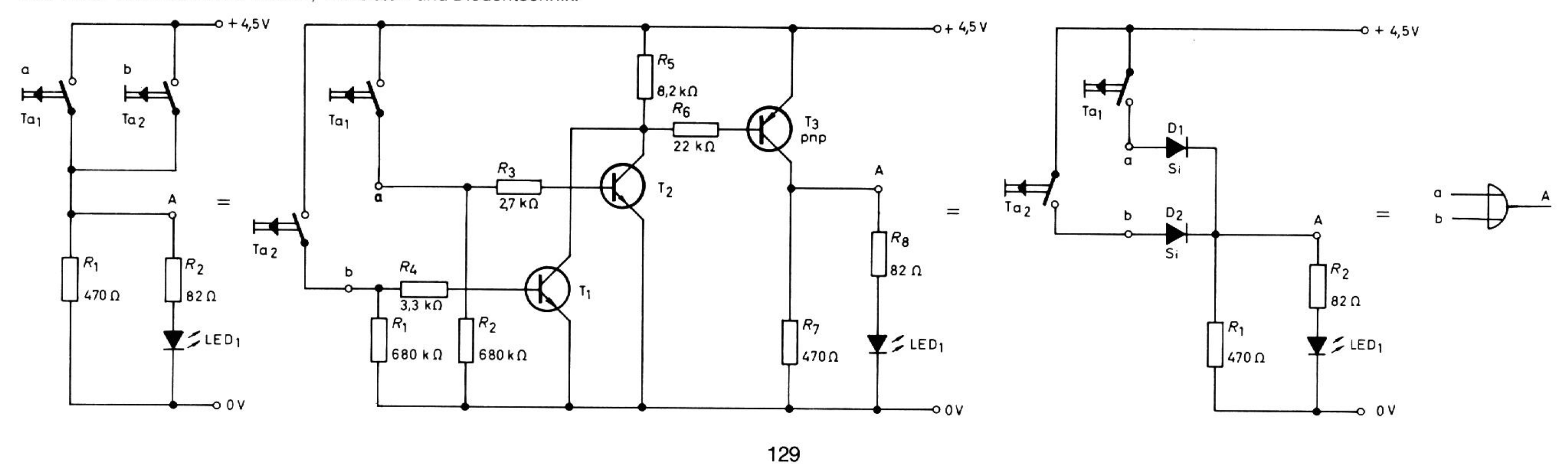


Bild 199 c. UND-NICHT-Gatter in Taster-, Transistor- und Diodentechnik.

Bild 199 d. ODER-Gatter in Taster-, Transistor- und Diodentechnik.



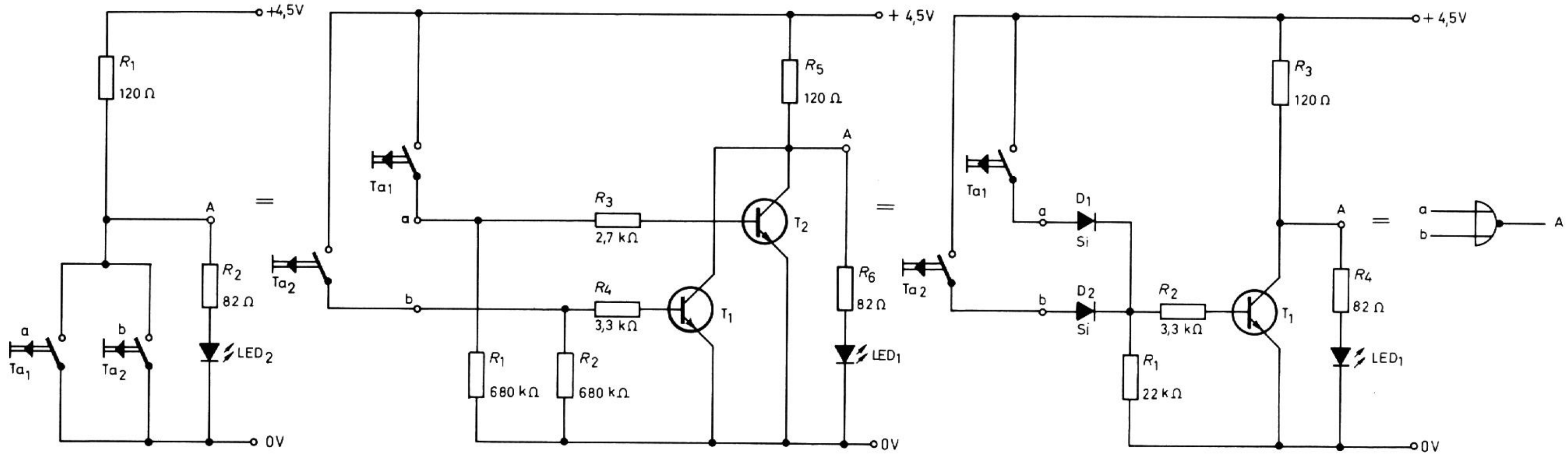


Bild 199 e. ODER-NICHT-Gatter in Taster-, Transistor- und Diodentechnik.

Kosmos Labor-Ausbau E 201 Digital-Praxis

Eine wirklich brauchbare Ausrüstung für Schaltungen und praktische Geräte der Digital-Technik. Hier wird nicht nur das Prinzip der Digital-Elektronik erläutert, sondern handfeste Technik mit 2 kompletten Zählern und 2 Ziffernanzeigen verwirklicht.

Experimentierausrüstung:
Zähler-Module in modernster CMOS-Technik (unempfindlich gegen Nachlassen der Batterien), strahlendhelle, 13 mm hohe 7-Segment-Leuchtziffern, Dioden, Spezialstecker, Widerstände usw. Ausführliches Anleitungsbuch mit zahlreichen Abbildungen.

Versuchsprogramm:
Zähler bis 199, musikalischer Digital-Würfel, Lotto-Generator, Digital-Voltmeter, Stoppuhr, Knobelspiel, Musik-Synthesizer, Spielereien mit Buchstaben und Zahlen.

Bestell-Nr. 615211

Kosmos Labor-Ausbau E 202 Infrarot-Praxis

Die ideale Fortsetzung des Elektronik-Labors E 200, die in die Geheimnisse der unsichtbaren Infrarot-Strahlen einführt. Verblüffende Kombinationen von Elektronik und Optik. Praxisgerechte Fernsteuerung, drahtlose Nachrichtenübertragung und optoelektronische Geräte faszinieren durch neuartige Techniken.

Experimentierausrüstung:
Sende-Diode und Empfänger-Fototransistor, optische Linsen, npn-Kleinleistungs-Transistor, Widerstände, Metall-Frontplatte, Aufbauplatte, Steckfedern und vieles andere mehr. Ausführliches, reich illustriertes Anleitungsbuch.

Versuchsprogramm:
Fernsteuerung, Infrarot-Strahlentelefon, Entfernungsmeßgerät, unsichtbare Lichtschranke, Alarmanlage, Differenzlichtschalter und vieles andere mehr.

Bestell-Nr. 615111

Kosmos Labor-Ausbau E 203 Hifi-Praxis

Für junge, dynamische Leute ist der Kosmos Labor-Ausbau E 203 das richtige Produkt. Der Aufbau eines 2 × 10 W Stereo-Verstärkers bzw. 1 × 20 W Monoverstärkers bringt Disko-Stimmung ins Haus. Das fetzt so richtig los. Das kernt so richtig an. Da machen die Nachbarn gleich mit. Die nächste Party findet mit Kosmos statt. Eigenbau ist Trumpf, und die Besitzer des „E 200-Labors" sind mit diesem Ausbaukasten mal wieder vorn.
Eine zukunftsweisende Neuheit mit vielen Extrazugaben, wie es bei Kosmos üblich ist: z. B. eine Motorsteuerung für Modellbahnen, oder ein Mischpult, oder elektronische Klangeffekte, um nur einiges zu nennen.

Zusätzlich erforderlich: 1 Eisenbahn- oder Experimentiertransformator, handelsübliche Lautsprecherbox(en).

Bestell-Nr. 615311

29. Addier-Schaltung

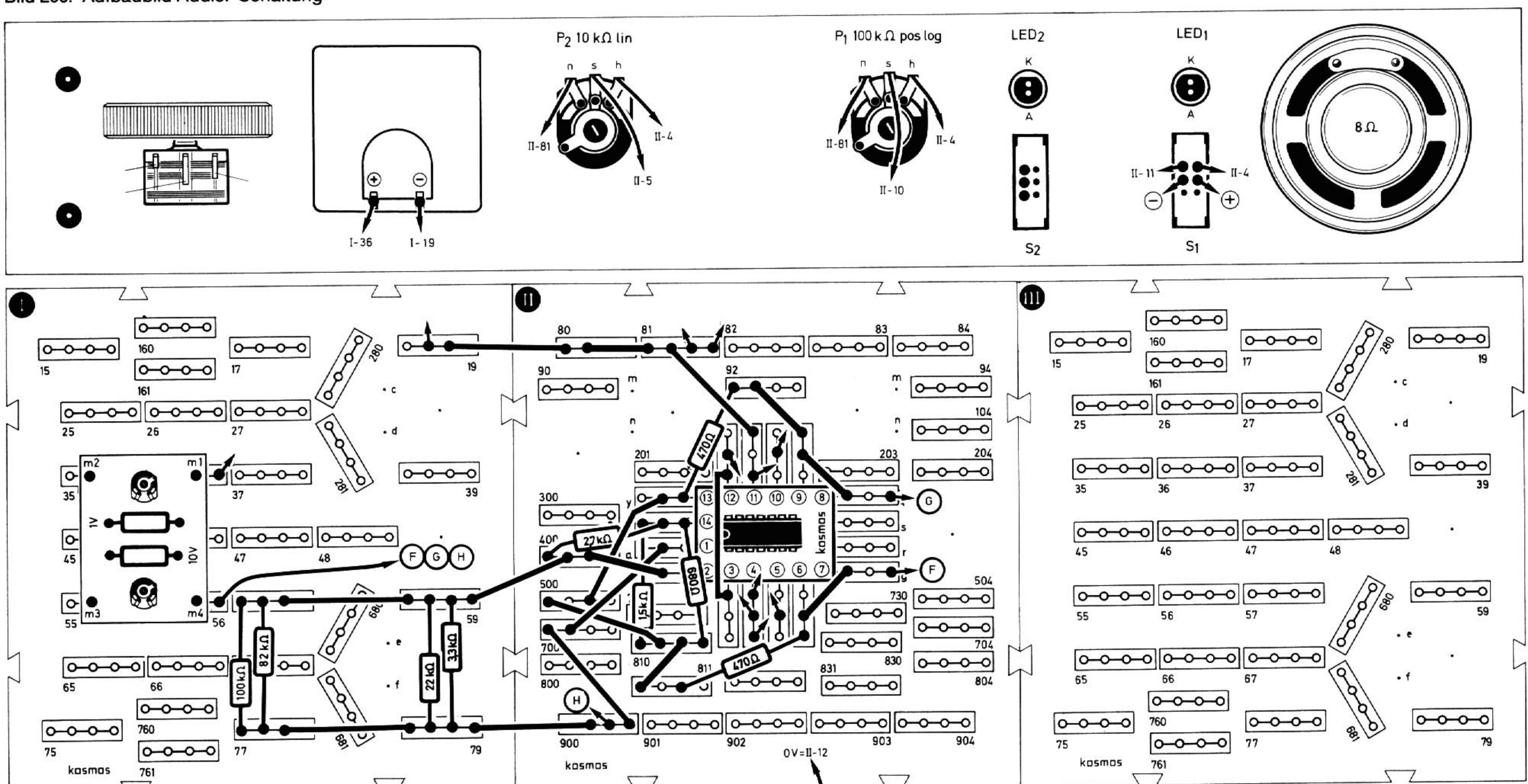
(Aufbaubild 200, Schaltbild 201)

Bei vielen Problemen der Wellenmechanik, zur Lösung von Schwingungsproblemen in der Autoindustrie und in der Optik werden Analogrechner eingesetzt.

Addier-, Subtrahier- und Logarithmierschaltungen sind Bausteine aus solchen Analogrechnern.

Natürlich können wir mit den Mitteln unserer Expe-

Bild 200. Aufbaubild Addier-Schaltung



rimentierausrüstung keinen kompletten Analogrechner bauen. Mit den (bewußt einfach gehaltenen) Rechenbeispielen läßt sich aber das Prinzip dieser Rechentechnik demonstrieren.

Von den gemessenen Werten muß bei unserer Schaltung immer 4,5 abgezogen werden, damit positive und negative Zahlen verarbeitet werden können. (Auch bei großen Analogrechnern werden die Eingangsgrößen „normiert".)

Die Schaltung wird nach Bild 200 aufgebaut. Die Meßplatine muß eingestellt sein, wie in Kapitel 10.3 beschrieben. Für die Messungen befestigt man das Meßgerät im Seitenteil.

Man rechnet nach der Formel:

$$G + F = H$$

Wir verbinden Punkt m_4 der Meßplatine mit Punkt G und stellen mit P_1 eine Spannung, zum Beispiel 5,5, auf der Skala des Meßgeräts ein. Von diesem Wert ziehen wir 4,5 ab und erhalten 1.

Nun wird Punkt m_4 mit Punkt F verbunden. Wieder stellen wir eine Spannung von 5,5 mit P_2 ein, ziehen 4,5 ab und erhalten 1.

Wenn wir nun Punkt m_4 mit Punkt H verbinden, zeigt die Skala eine Spannung von 6,5 an. 6,5–4,5 = 2. Wir haben also gerechnet 1 + 1 = 2.

Als Formel sieht das so aus:

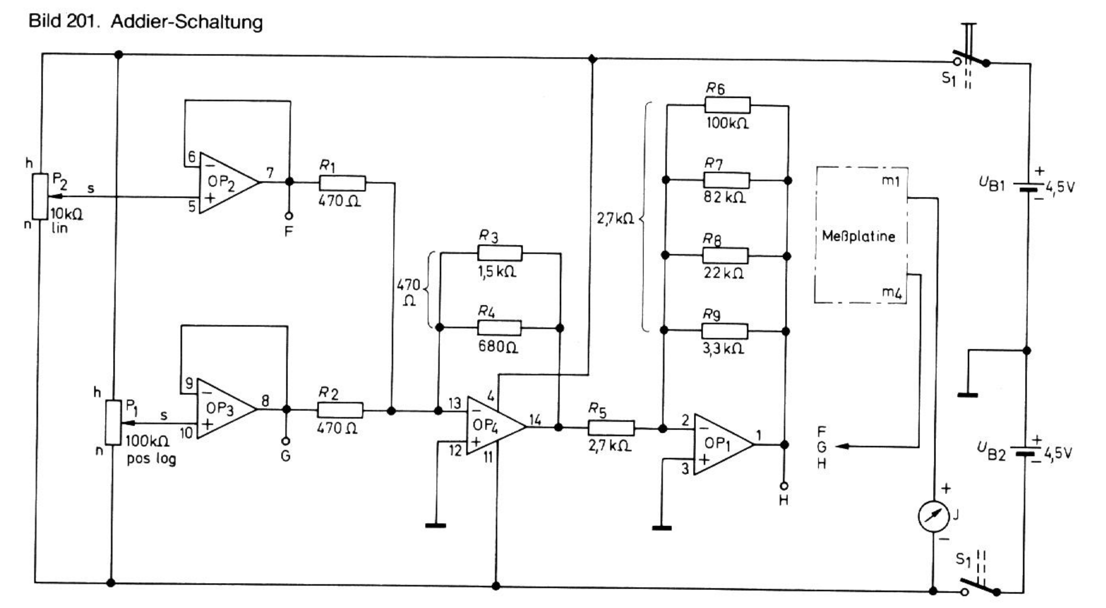
$$\underbrace{(5{,}5 - 4{,}5)}_{G} + \underbrace{(5{,}5 - 4{,}5)}_{F} = \underbrace{(6{,}5 - 4{,}5)}_{H}$$



Der Rechenbereich reicht von –3 bis +3. Wenn 0 in der Mitte der Skala läge, könnte man rechnen, ohne daß 4,5 vom angezeigten Wert abgezogen werden müßte.

Den eigentlichen Addierer stellt Operationsverstärker OP_4 dar. OP_2 und OP_3 arbeiten hier als Impedanzwandler. OP_1 hat nur die Aufgabe, das Ausgangssignal von OP_4 zu invertieren.

Bild 201. Addier-Schaltung



30. Subtrahier-Schaltung

(Aufbaubild 202, Schaltbild 203, Seite 134)

Die Schaltung wird aufgebaut nach Bild 202. Die Meßplatine muß eingestellt werden, wie in Kapitel 10.3 beschrieben. Für die Messungen befestigen wir das Meßgerät im Seitenteil.

Von den gemessenen Werten müssen immer 4,5 abgezogen werden, damit positive und negative Zahlen verarbeitet werden können.

Wir können mit dieser Schaltung zwei Spannungen U_1 und U_2 voneinander abziehen. Wir rechnen nach der Formel:

$$G - F = H$$

Das bedeutet, wir verbinden Punkt m_4 der Meßplatine mit Punkt G und stellen mit P_1 eine Spannung zum Beispiel 7,5 auf der Skala des Meßgeräts ein. Von diesem Wert ziehen wir 4,5 ab und erhalten 3.

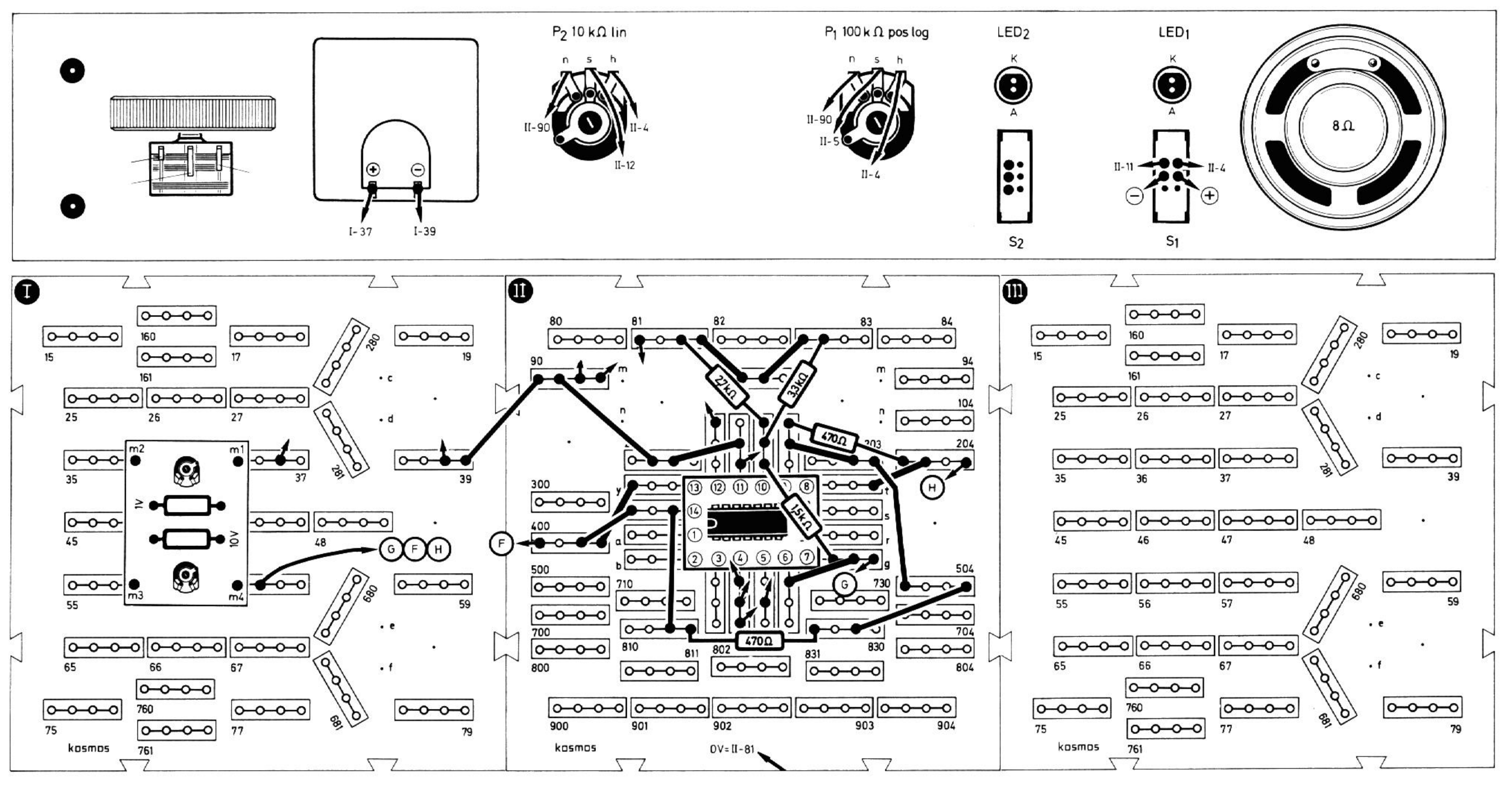


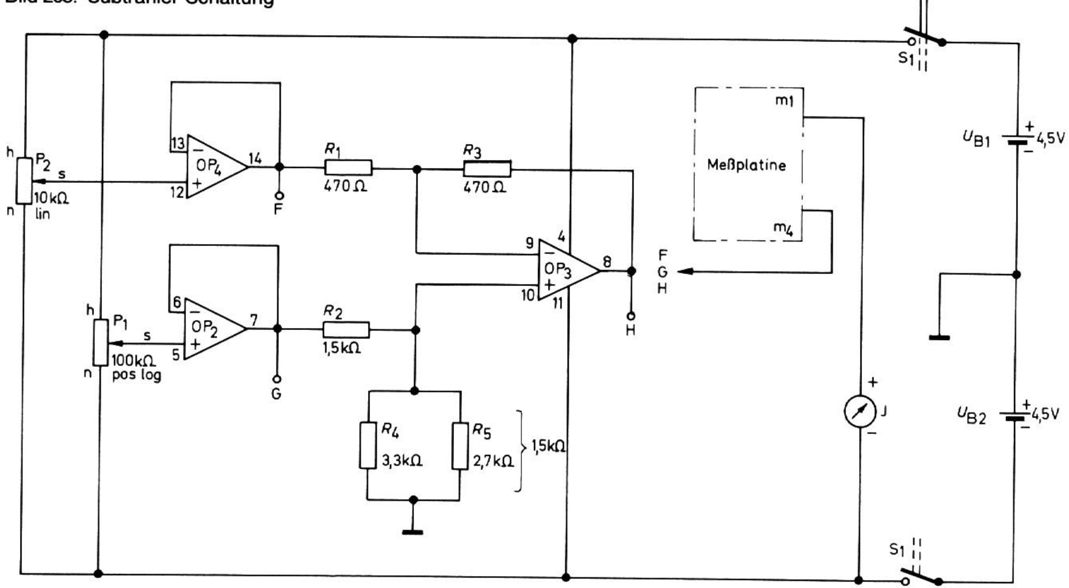
Bild 202. Aufbaubild Subtrahier-Schaltung

Nun wird Punkt m_4 mit Punkt F verbunden und mit P_2 die Spannung 5,5 auf der Skala eingestellt. Wenn wir 4,5 abziehen, erhalten wir 1. Verbinden wir nun Punkt m_4 mit Punkt H, so zeigt die Skala eine Spannung von 6,5 an. 6,5–4,5 = 2. Wir haben also gerechnet 3–1 = 2. Als Formel sieht das so aus:

$$\underbrace{G}_{(7{,}5-4{,}5)} - \underbrace{F}_{(5{,}5-4{,}5)} = \underbrace{H}_{(6{,}5-4{,}5)}$$

Unser Rechenbereich geht von –3 bis +3. Wenn 0 also in der Mitte der Skala läge, könnte man rechnen, ohne daß 4,5 vom angezeigten Wert abgezogen werden müßte.
In dieser Schaltung ist der Operationsverstärker

Bild 203. Subtrahier-Schaltung



OP_3 als Differenzverstärker geschaltet. OP_2 und OP_4 arbeiten als Impedanzwandler.

31. Digital-Analog-Wandler

(Aufbaubild 204, Schaltbild 205, Seite 136)

Für Prozeßsteuerungen in Chemiewerken, Eisenhüttenbetrieben usw. werden Digital-Analog-Wandler benötigt, die z. B. einem Digital-Computer nachgeschaltet sind, damit ablaufende Prozesse direkt beeinflußt werden können.

Das Schaltbild zeigt einen sehr einfachen Digital-Analog-Wandler. Diese Schaltung wandelt digitale Stufenwerte (hier über Taster einstellbar) in gleitende (analoge) Spannungswerte um.

Die analogen Ausgangssignale kann man am Meßgerät ablesen.

Beim Aufbau ist zu beachten, daß die Meßplatine eingestellt sein muß, wie in Kapitel 10.3 beschrieben.

Das Meßgerät steckt im Seitenteil A und wird mit dem Potentiometer P_2 abgeglichen: Beide Taster gleichzeitig drücken und mit P_2 auf einen Ausschlag von 3 V einstellen.

Die digitalen Stufenwerte werden mit den beiden Tastern erzeugt und von den Leuchtdioden LED_1 und LED_2 nach dem Prinzip eines Binärzählers angezeigt:

Kein Taster gedrückt, beide LEDs dunkel	= 0 V
Ta_2 gedrückt: LED_1 dunkel, LED_2 hell	= 1 V
Ta_1 gedrückt: LED_1 hell, LED_2 dunkel	= 2 V
Ta_1 und Ta_2 gedrückt: beide LEDs hell	= 3 V.

Mit entsprechenden Tastern, Leuchtdioden und anderen elektronischen Bauelementen könnte man diesen Digital-Analog-Wandler fast unbegrenzt ausbauen.

Die Eingabe der digitalen Stufenwerte erfolgt durch die Taster nach dem Binär-Code. Zahlen im Binär-Code haben die Basis 2 und nicht, wie wir es aus dem Zehnersystem gewöhnt sind, die Basis 10. Bekanntlich läßt sich eine Dezimalzahl darstellen als

$$a_n \cdot 10^{n-1} + \ldots + a_3 \cdot 10^2 + a_2 \cdot 10^1 + a_1 \cdot 10^0$$

wobei $a_0 \ldots a_n$ Werte zwischen 0 und 9 annehmen können. Entsprechend wird eine Zahl im Binär-System geschrieben als

$$a_n \cdot 2^{n-1} + \ldots + a_3 \cdot 2^2 + a_2 \cdot 2^1 + a_1 \cdot 2^0$$

$a_0 \ldots a_n$ können hier nur die Werte 0 oder 1 einnehmen.

Beispiel: Die Dezimalzahl 23 wird binär so dargestellt:

$$1 \cdot 2^4 + 0 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0$$

oder in abgekürzter Schreibweise:

10111

Das erscheint umständlich, ist durch die einfache Darstellbarkeit der Wertigkeiten 1 und 0 in der Elektronik gut anwendbar.

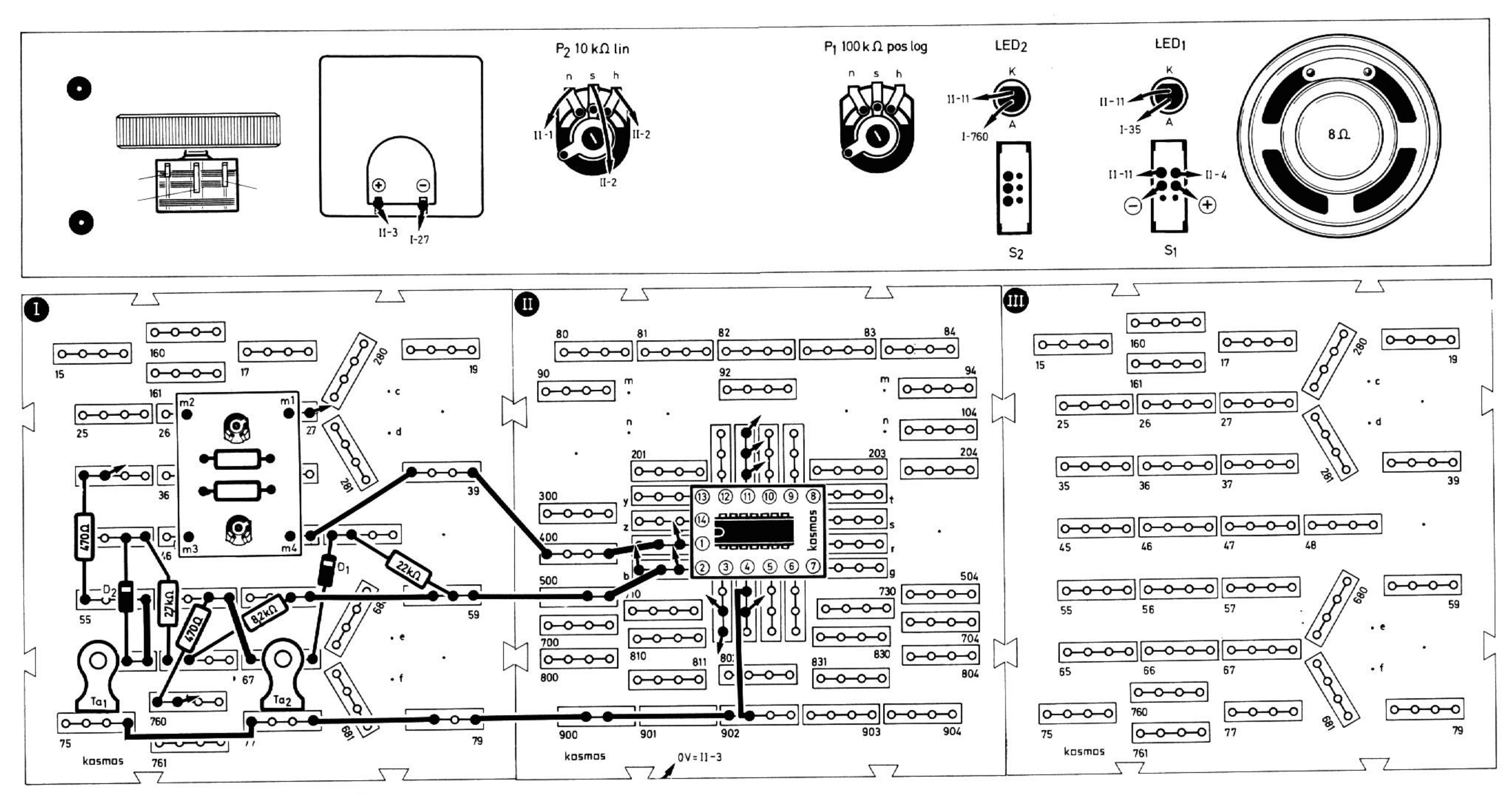
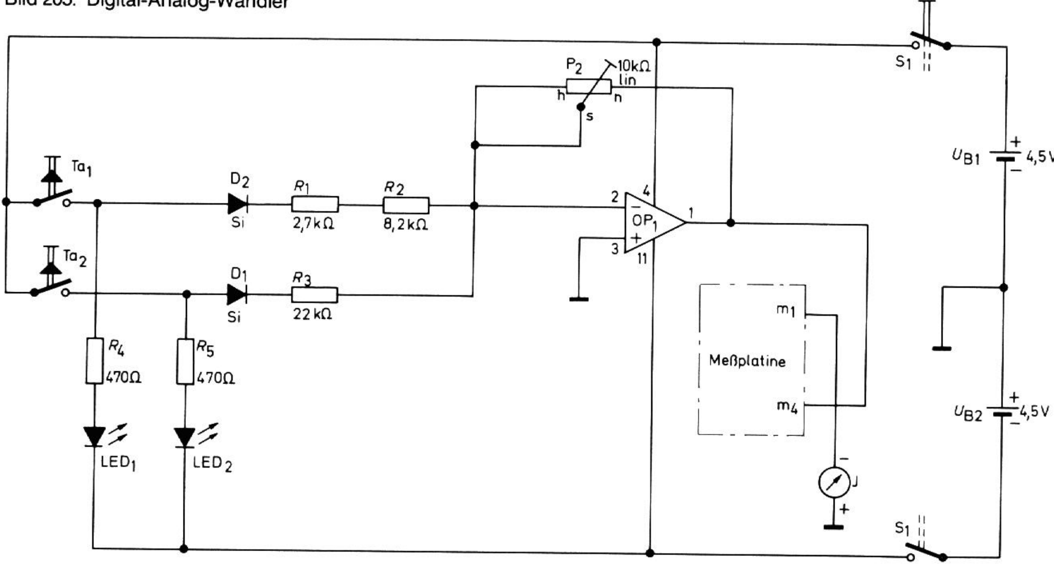


Bild 204. Aufbaubild Digital-Analog-Wandler

Bild 205. Digital-Analog-Wandler



32. Analog-Digital-Wandler

(Aufbaubild 206, Seite 137, Schaltbild 207, Seite 138)

Wenn der Wert analoger Spannungen z. B. durch Ziffernanzeige oder eine Leuchtdiode angezeigt werden soll, werden Analog-Digital-Wandler benötigt. Diese Schaltung wandelt gleitende (analoge) Spannungswerte in digitale Stufenwerte um, mit denen z. B. ein Computer arbeiten kann. Die analogen Spannungswerte zeigt das Meßgerät an. Die digitalen Stufenwerte kann man an den beiden Leuchtdioden LED_1 und LED_2 ablesen, die nach dem Prinzip eines Binärzählers arbeiten:

beide LEDs dunkel	= 0–0,8 V
LED_1 dunkel, LED_2 hell	= 1 V
LED_1 hell, LED_2 dunkel	= 2 V
beide LEDs hell	= 3 V.

Beim Aufbau ist zu beachten, daß die Meßplatine eingestellt sein muß, wie in Kapitel 10.3 beschrieben. Das Meßgerät ist in das Seitenteil gesteckt.

Das Potentiometer P_2 steht beim Einschalten bei „0" auf der Frontplattenskala (linker Anschlag). Das Meßgerät zeigt 0 V an. Die Leuchtdioden sind dunkel.

Während man nun P_2 nach rechts dreht, wandert der Zeiger des Meßgeräts langsam bis 0,9 V. Wenn dieser Wert erreicht ist, geht LED_2 an. Bei einem Wert von 2 V erlischt LED_2, und LED_1 geht an. Dieser Wechsel erfolgt ganz plötzlich. Ist ein Wert von 3 V erreicht, leuchtet LED_2 wieder auf, so daß beide LEDs brennen. Wenn man P_2 weiter aufdreht, steigt zwar der Zeiger des Meßgeräts bis etwa 4 V, aber an den Leuchtdioden ändert sich nichts mehr.

Die Schaltung wandelt eine mit dem Potentiometer P_2 einstellbare Gleichspannung in ein digitales Signal· um, das von den Leuchtdioden LED_1 und LED_2 im Binärcode angezeigt wird. Die Operationsverstärker OP_4, OP_1 und OP_2 arbeiten in dieser Schaltung als Komparatoren, die einen genauen Spannungsvergleich ermöglichen. Bezugsspannungen für die einzelnen Stufen erhalten wir aus dem Spannungsteiler mit den Bauteilen D_1, R_2, R_1, R_3, R_4 und R_5. Die beiden nichtinvertierenden Eingänge von OP_4 und OP_1 sowie der invertierende Eingang von OP_2 sind zusammengeschaltet und liegen am Ausgang des als Impedanzwandler arbeitenden Operationsverstärkers OP_3. Die anderen Eingänge der Komparatoren liegen an den durch den Spannungsteiler bestimmten Spannungen. Da unser Analog-Digital-Wandler in 1-V-Schritten arbeitet, müssen an den verschiedenen Anzapfungen des Spannungsteilers jeweils um 1 V ansteigende Spannungen abnehmbar sein. Mit der im Schaltbild angegebenen Dimensionierung ergeben sich an den Anzapfungen des Spannungsteilers bei einer Betriebsspannung von −4,5 V folgende Spannungen: Am invertierenden Eingang von OP_4 ca. −0,9V, am invertierenden Eingang von OP_1 ca. −2V und am nichtinvertierenden Eingang von OP_2 ca. −3 V. Liegt der Schleifer von P_2 an Masse, das heißt das Potentiometer ist ganz nach links gedreht, erhalten wir am Ausgang von OP_3 0 V und an den Eingängen der Komparatoren ebenfalls 0 V.

An den Ausgängen von OP_4 und OP_1 erscheint nun eine positive Spannung, am Ausgang von OP_2 hin-

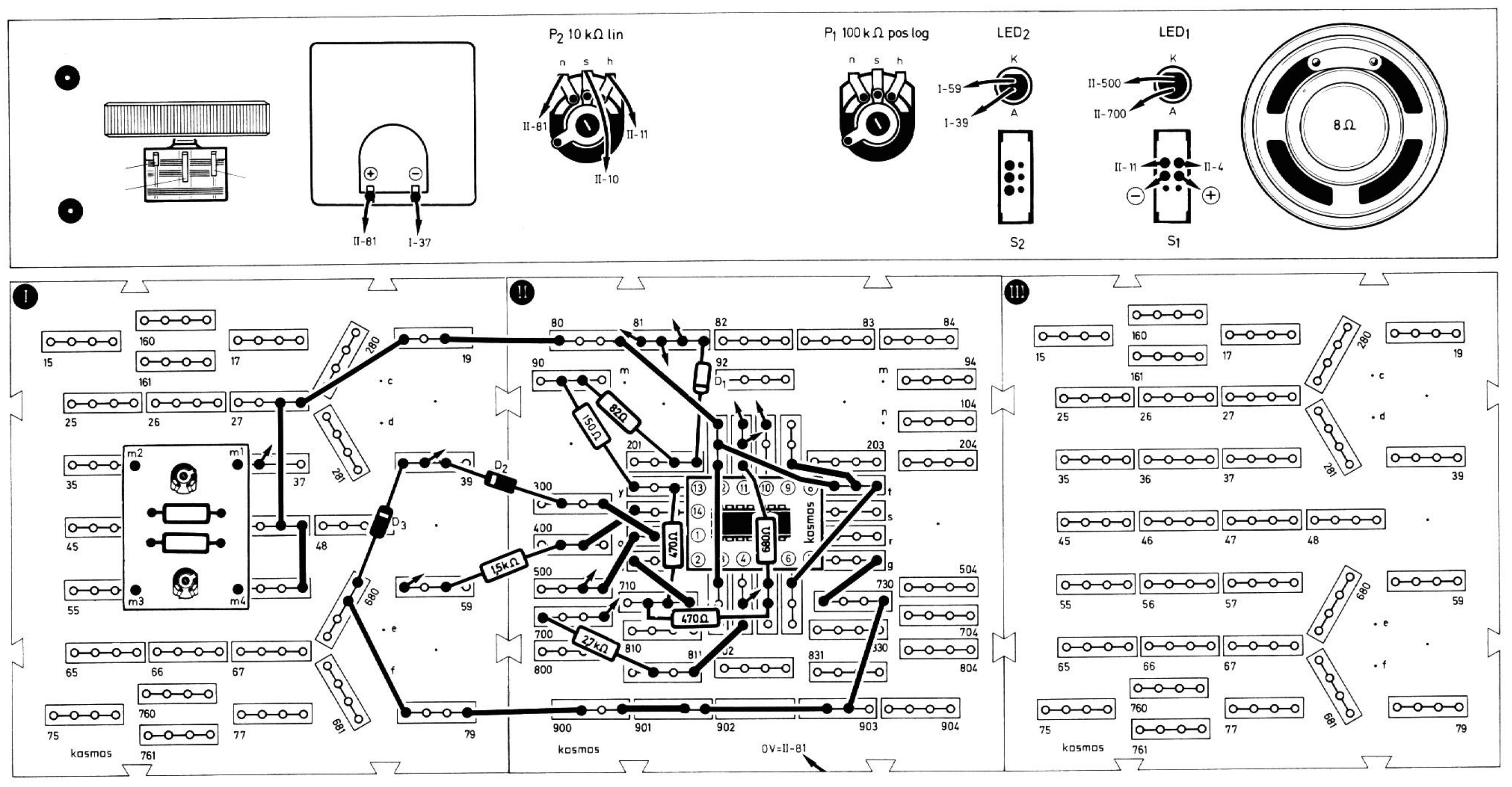
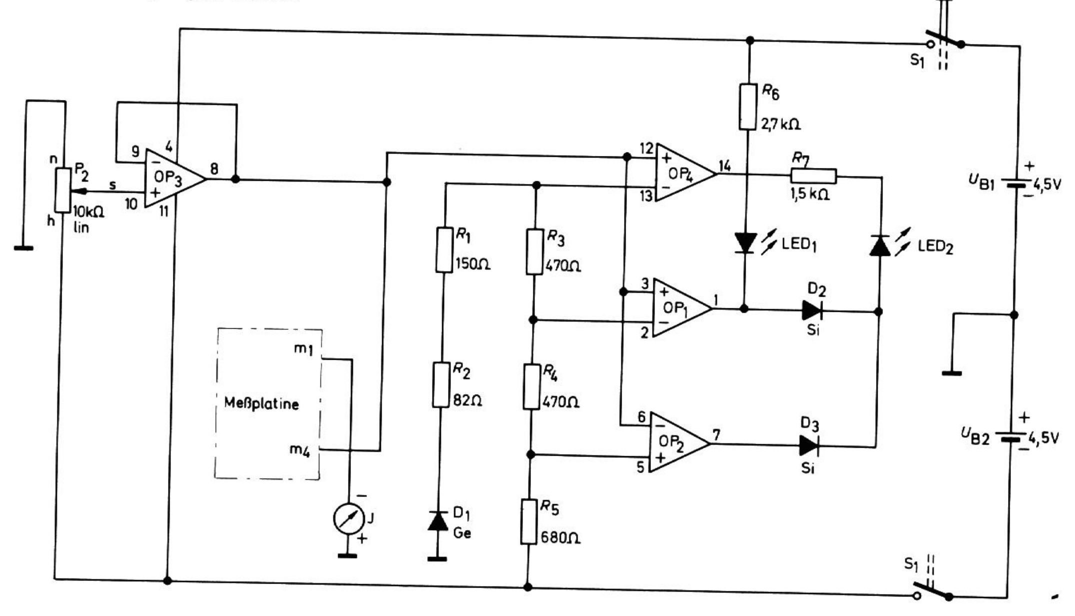


Bild 206. Aufbaubild Analog-Digital-Wandler

gegen eine negative Spannung, da er nicht wie die beiden anderen Operationsverstärker mit dem nicht-invertierenden Eingang an der veränderlichen Spannung liegt. Die Leuchtdiode LED_1 erhält von OP_1 positives Signal, für das sie in Sperrichtung gepolt ist. Sie kann also nicht aufleuchten. Die LED_2 erhält von OP_4 ebenfalls positives Signal an der Katode und kann somit auch nicht leuchten. Erhöhen wir nun die Ausgangsspannung von OP_3 durch Aufdrehen von P_2, bis unser Meßgerät etwas mehr als 0,9 V anzeigt, also größer wird als die Vergleichsspannung am invertierenden Eingang von OP_4, so schaltet sein Ausgang nach Minus um. An den Ausgangssignalen der anderen Operationsverstärker ändert sich nichts. Da der Ausgang von OP_4 nun negativ ist und der Ausgang von OP_1 positiv und die Diode D_2 in Durchlaßrichtung geschaltet ist, leuchtet LED_2 auf. Erhöhen wir nun die Ein-

Bild 207. Analog-Digital-Wandler



gangsspannung auf ca. −2 V, so schaltet OP_1 seinen Ausgang nach Minus. In diesem Zustand führen alle drei Operationsverstärker negative Spannung am Ausgang. Die Dioden D_2, D_3 sind in Sperr-Richtung geschaltet und LED_2 erlischt. Nun ist LED_1 in Durchlaßrichtung geschaltet und leuchtet auf. Erhöhen wir das Eingangssignal weiter auf ca. −3 V, so wird die Schwellenspannung von OP_2 erreicht, und sein Ausgang schaltet nach Plus um. Der Ausgang von OP_4 und OP_1 ist weiterhin negativ, so daß nun die Diode D_3 in Durchlaßrichtung geschaltet ist und die Leuchtdiode LED_2 aufleuchten kann. Da OP_1 noch negatives Signal am Ausgang führt, leuchtet auch LED_1.

33. Logarithmischer Verstärker

(Aufbaubild 208, Schaltbild 209)

Mit dem logarithmischen Verstärker kann man die Quadratwurzel oder die Kubikwurzel einer Zahl zwischen 1 und 10 ermitteln. Das Meßgerät wird in Seitenteil A gesteckt.

Als erstes muß die Schaltung genau auf den Nullpunkt eingestellt werden. Diese Einstellung muß sehr sorgfältig vorgenommen werden, weil davon die Genauigkeit späterer Rechnungen abhängt.

1. Potentiometer P_{m1} rechts herum zum Anschlag drehen.
2. P_{m2} links herum zum Anschlag drehen.
3. Schalter S_2 nach oben schieben.
4. Mit Potentiometer P_2 das Meßgerät auf 1 einstellen und S_2 nach unten schieben.
5. Mit P_1 das Meßgerät exakt auf 0 einstellen. Wenn S_2 wieder nach oben geschoben wird und der Zeiger genau auf 1 steht, ist der Nullpunkt gefunden.

Die obere Begrenzung stellen wir mit P_2 und P_{m2} ein.

6. S_2 nach oben schieben und mit P_2 das Meßgerät auf 10 einstellen.
7. S_2 nach unten stellen und das Meßgerät auch mit P_{m2} auf 10 einstellen.
8. S_2 wieder nach oben schieben und prüfen, ob der Null-Abgleich noch stimmt; gegebenenfalls korrigieren.

Beim logarithmischen Verstärker ist die Ausgangsspannung nicht wie bei normalen (linearen) Verstärkern proportional zur Eingangsspannung, sondern entspricht deren Logarithmus. Logarithmische Verstärker finden Anwendung in der Meßtechnik, wenn Meßgeräte mit großem Anzeigebereich erforderlich sind. Eine Skala mit logarithmischer Teilung finden wir zum Beispiel auf jedem Rechenschieber. In unserer Schaltung ist der eigentliche Logarithmierer der Operationsverstärker OP_4. Wenn wir uns den Widerstand R_3 wegdenken, der nur eine strombegrenzende Funktion hat, so liegt im Gegenkopplungszweig des Operationsverstärkers nur der Transistor T_1. Offensichtlich ist also T_1 die eigentliche Ursache für das logarithmische Verhalten des Operationsverstärkers OP_4. Hierbei wird eine spe-

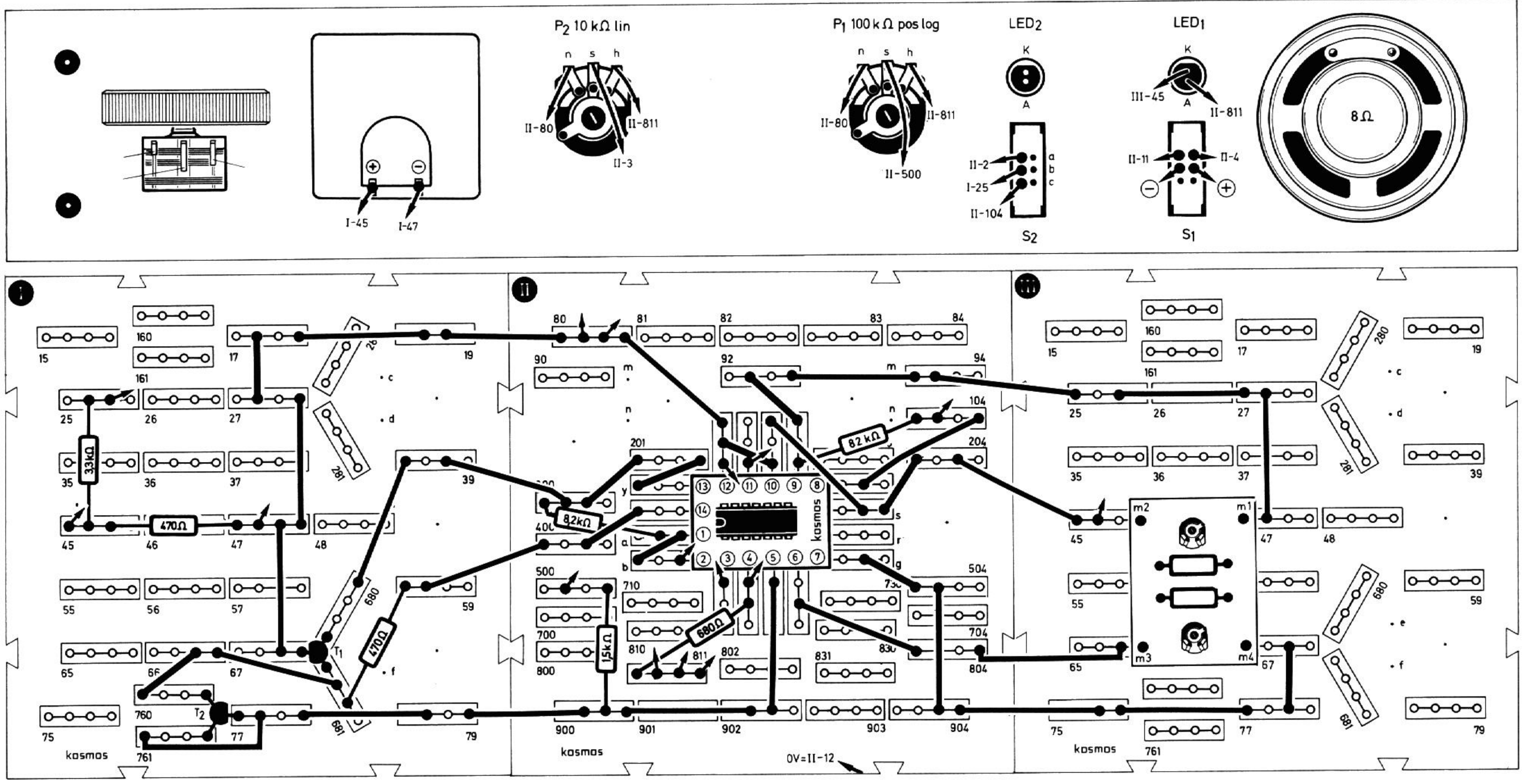
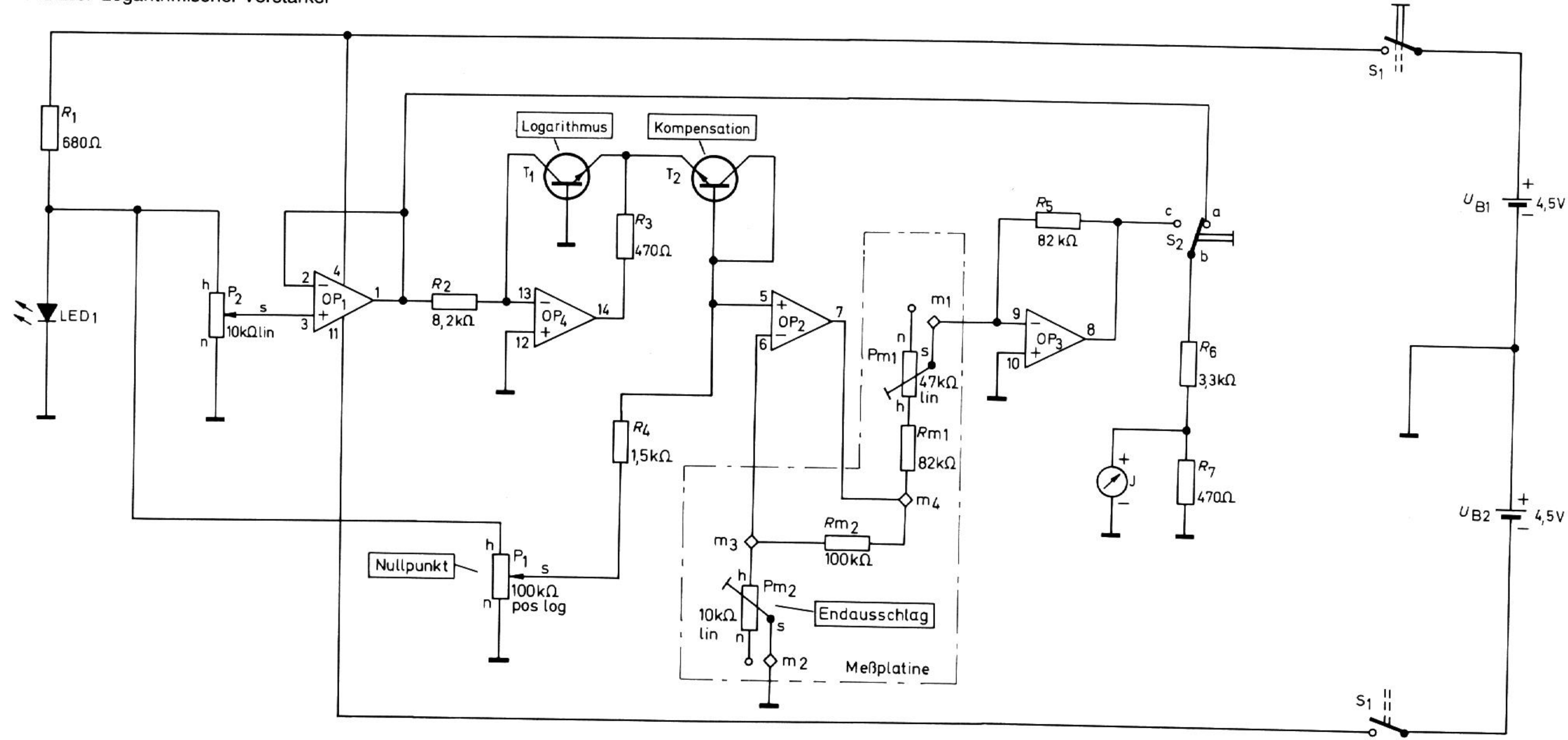


Bild 208. Aufbaubild logarithmischer Verstärker

zielle Eigenschaft von Transistoren ausgenützt: Basis-Emitter-Spannung und Kollektorstrom sind über den Logarithmus miteinander verknüpft. Ein Strom von T_1 kann jedoch nur dann fließen, wenn die Basis-Emitter-Schwellenspannung von T_1 ca. 0,5 V erreicht hat. Das heißt, am Ausgang von OP_4 stehen ohne Eingangsspannung bereits 0,5 V an. Diese Spannung sowie die starke Temperaturabhängigkeit der Schaltung kompensieren wir mit dem Transistor T_2. Da die Transistoren T_1 und T_2 nicht absolut gleich sind, sondern wie jedes andere Bauteil Exemplarstreuungen unterliegen, müssen wir den genauen Nullpunkt mit dem Potentiometer P_1 einstellen. Aus unserer Tabelle zum logarithmischen Verstärker entnehmen wir, daß die Ausgangsgröße des Logarithmierers bei einer Eingangsgröße von 1 gleich 0 ist. Die Eingangsspannung des Logarithmierers stellen wir mit dem Po-

Bild 209. Logarithmischer Verstärker



tentiometer P_2 ein. Der Operationsverstärker OP_1 arbeitet als Impedanzwandler und sorgt für einen niedrigen Ausgangswiderstand. Wenn S_2 oben steht, wird die Eingangsgröße des Logarithmierers angezeigt und wenn S_2 unten steht, seine Ausgangsgröße.

Der Null-Abgleich muß so sorgfältig durchgeführt werden wie beschrieben, weil er über die Genauigkeit unserer Schaltung entscheidet. Die Funktion von OP_2 und OP_3 ist schnell erklärt. OP_2 arbeitet als nicht invertierender Verstärker, dessen Verstärkung mit P_{m2} auf der Meßplatine eingestellt werden kann. Der Operationsverstärker OP_3 arbeitet als Invertierer mit der Verstärkung 1, das heißt das Eingangssignal wird um 180° gedreht. Plus am Eingang bedeutet Minus am Ausgang und umgekehrt. OP_3 hebt somit die Phasendrehung durch OP_4 wieder auf und erleichtert uns somit das Experimentieren, da wir sonst das Meßgerät ständig umpolen müßten. Die Verstärkung von OP_2 liegt bei ca. 10fach und ermöglicht uns ein genaues Ablesen des Logarithmus. Allerdings müssen wir den angezeigten Wert durch 10 teilen. Anhand der Tabelle 12 können wir die Funktion unseres Logarithmierers überprüfen.

Zum Schluß noch ein Rechenbeispiel: Wir können mit Hilfe unserer Schaltung die Quadratwurzel einer

Zahl zwischen 1 und 10 ermitteln. Wir nehmen die Zahl 9: S_2 ist nach oben gestellt. Mit P_2 die Zahl 9 am Meßgerät einstellen, S_2 umschalten und den Logarithmus ablesen. Anzeige durch 10 teilen. Es ergibt sich ein Wert von 0,95. Diesen teilen wir durch 2 und stellen diesen neuen Wert von ca. 0,48 ein, das sind auf dem Meßgerät 4,8. Nun schieben wir S_2 wieder nach oben und lesen die Zahl 3 ab.

Noch ein Beispiel: Wir wollen die Kubikwurzel von 8 ermitteln. Wir stellen 8 ein, teilen das Ergebnis – ca. 0,9 – durch 3. Das Ergebnis wird mit dem Meßgerät eingestellt. Nach Umschalten von S_2 haben wir das Ergebnis: 2.

34. Elektronischer Impulszähler

(Aufbaubild 211, Seite 142, Schaltbild 210)

Der elektronische Impulszähler stellt einen Quasi-Binärzähler dar. Die beiden Leuchtdioden LED_1 und LED_2 zählen von 0 bis 3 die Impulse des Rechteckgenerators:

beide LEDs dunkel	= 0
LED_1 dunkel, LED_2 hell	= 1
LED_1 hell, LED_2 dunkel	= 2
beide LEDs hell	= 3.

Der Rechteckgenerator besteht aus dem Operationsverstärker OP_3, R_1 und R_2 sowie C_1 und P_1.

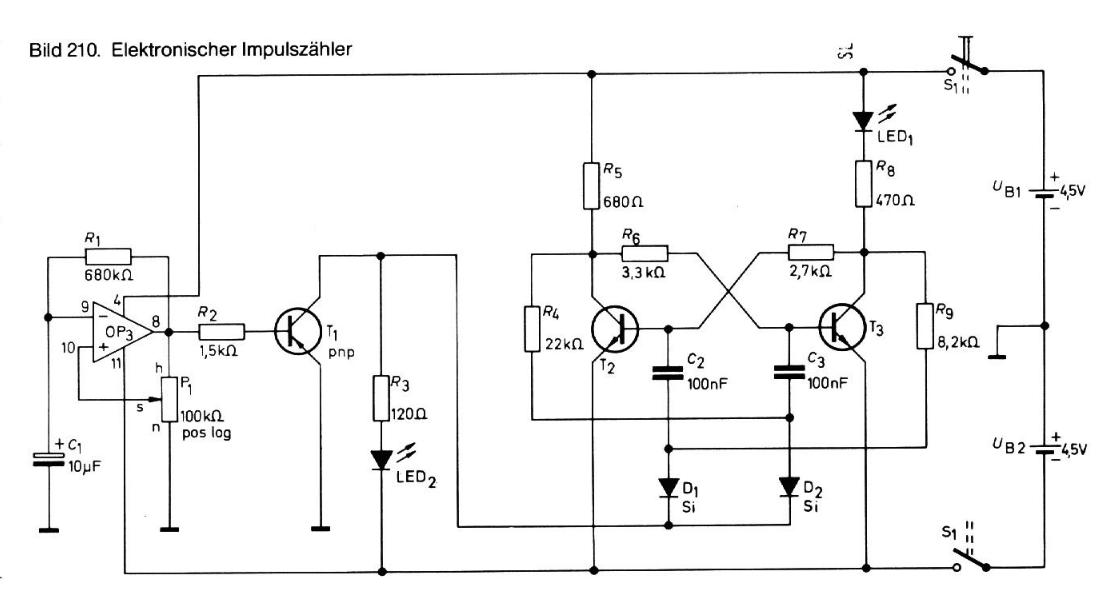
Im Rhythmus des Rechteckgenerators leuchtet über $T_{1\,pnp}$ LED_2. Am Kollektor von $T_{1\,pnp}$ ist der Eingang eines Flip-Flops angeschlossen. Durch die Impulse des Rechteckgenerators werden abwechselnd T_2 und T_3 leitend, so daß die vom Kollektorstrom von T_3 durchflossene LED_1 nur bei jedem zweiten Impuls aufleuchtet.

Betrachtet man die beiden Leuchtdioden, so entsteht der Eindruck eines Binär-Zählers. Entsprechend den Überlegungen von Seite 134 erscheinen nacheinander die Binär-Zahlen 00, 01, 10, 11. Wenn ED_1 nicht ganz dunkel wird, kann man als R_7 einen größeren Widerstand nehmen.

Tabelle 12: Anzeige und Werte bei Logarithmierschaltungen

S_2 oben	S_2 unten	
Einstellen mit P_2	Anzeige	Werte
0	<0	$-\infty$ (minus unendlich)
1	0	0
2	3	0,30
3	4,8	0,48
4	6	0,60
5	7	0,70
6	6,8	0,68
7	8,5	0,85
8	9	0,90
9	9,5	0,95
10	10	1,00

Bild 210. Elektronischer Impulszähler



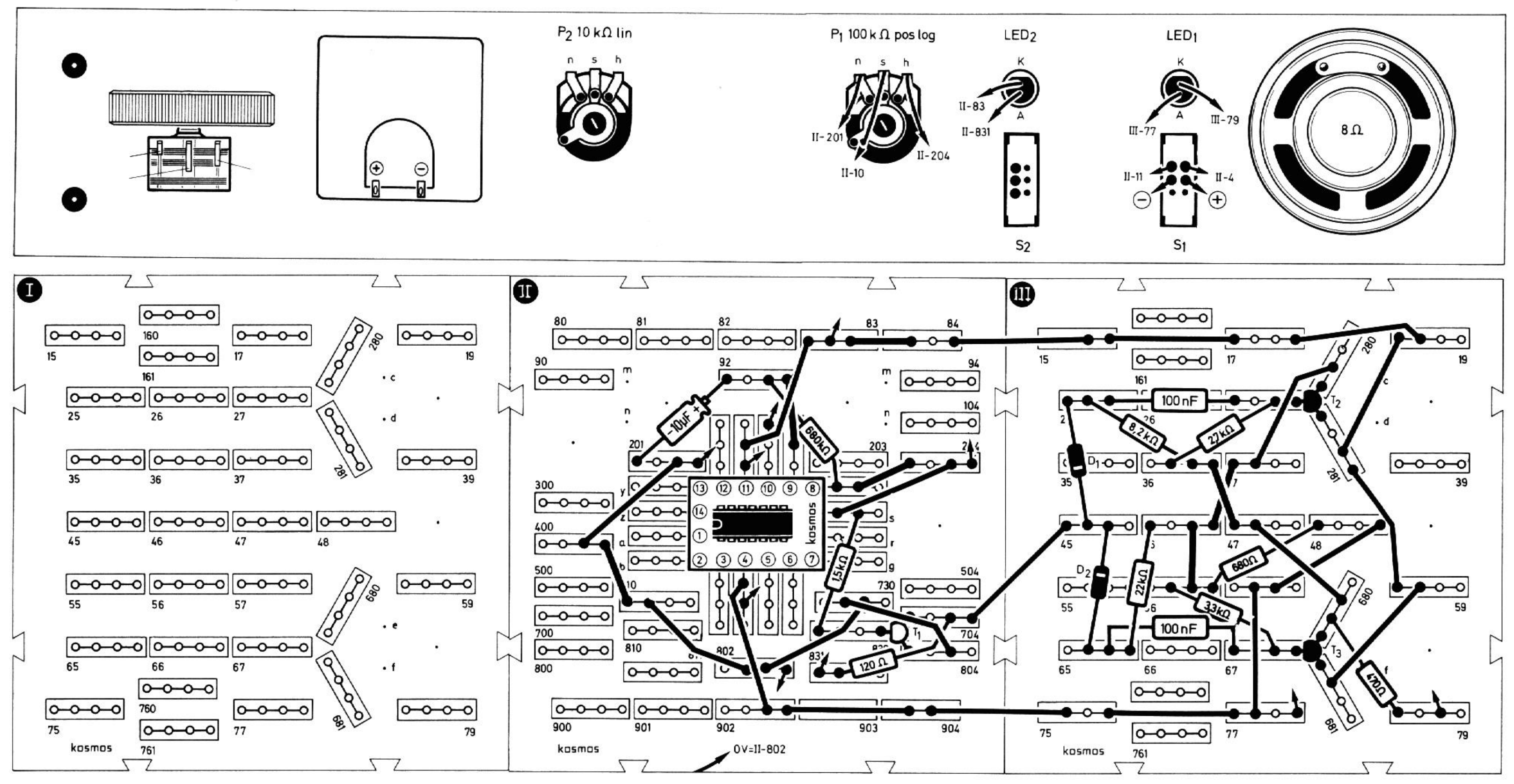


Bild 211. Aufbaubild elektronischer Impulszähler

35. Aktive Klangregelstufe für Höhen und Bässe

(Aufbaubild 212, Schaltbild 213, Seite 144)

Unsere Klangregelstufe besteht aus einem Hochpaß und einem Tiefpaß. Das sind selektive Filter, die bestimmte Frequenzen passieren lassen und andere abschwächen.

An die NF-Buchse im Seitenteil A schließen wir eine Tonquelle an, zum Beispiel einen Plattenspieler. Mit den Potentiometern P_2 für den Hochpaß und P_1 für den Tiefpaß kann man das gewünschte Klangbild einstellen.

Über die Lautsprecher-Buchse in Seitenteil B kann ein zweiter Lautsprecher zugeschaltet werden, der aber mindestens 8 Ω haben muß, weil beide Laut-

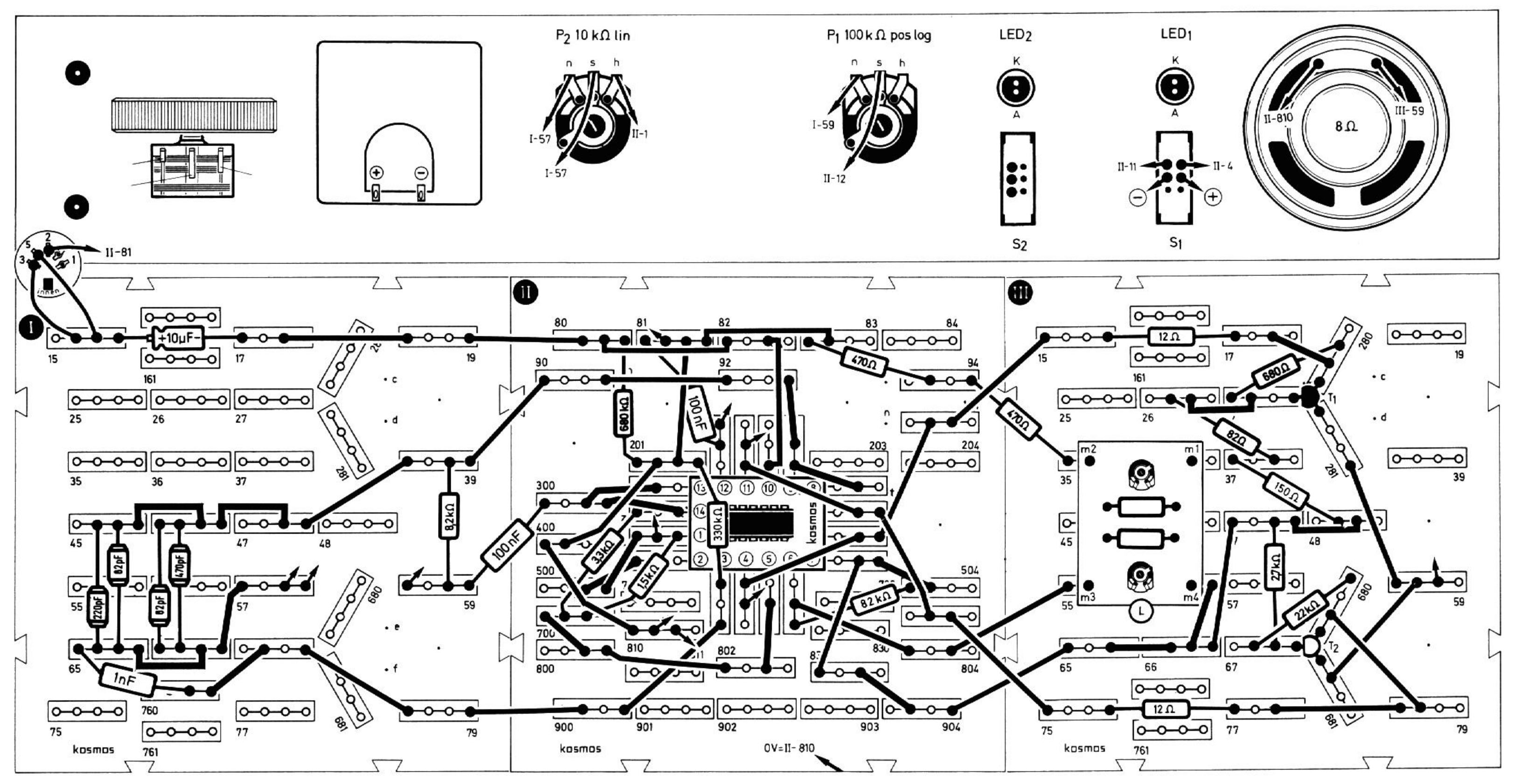


Bild 212. Aufbaubild aktive Klangregelstufe für Höhen und Bässe

sprecher zusammen nicht weniger als 4 Ω haben dürfen.

Welche Frequenzen verstärkt und welche abgeschwächt werden, wird durch die Werte der Kondensatoren und Widerstände bestimmt, mit denen der als selektives Filter arbeitende Operationsverstärker geschaltet ist. Unser Hochpaß mit OP_1 ist mit Kondensatoren, die zusammen je 1 nF ergeben, und mit einem Potentiometer 10 kΩ (P_2) beschaltet. Unser Tiefpaß mit OP_4 ist mit zwei Kondensatoren von je 100 nF und einem Potentiometer von 100 kΩ (P_1) beschaltet. Schließt man nun z. B. einen Plattenspieler an den Eingang der Schaltung mit OP_3 an, so werden diese Signale je nach ihrer Frequenz verstärkt oder abgeschwächt. Der Operationsverstärker OP_2 dient als Vorstufe für die Gegentaktendstufe mit den Transistoren T_1 und T_{2pnp}.

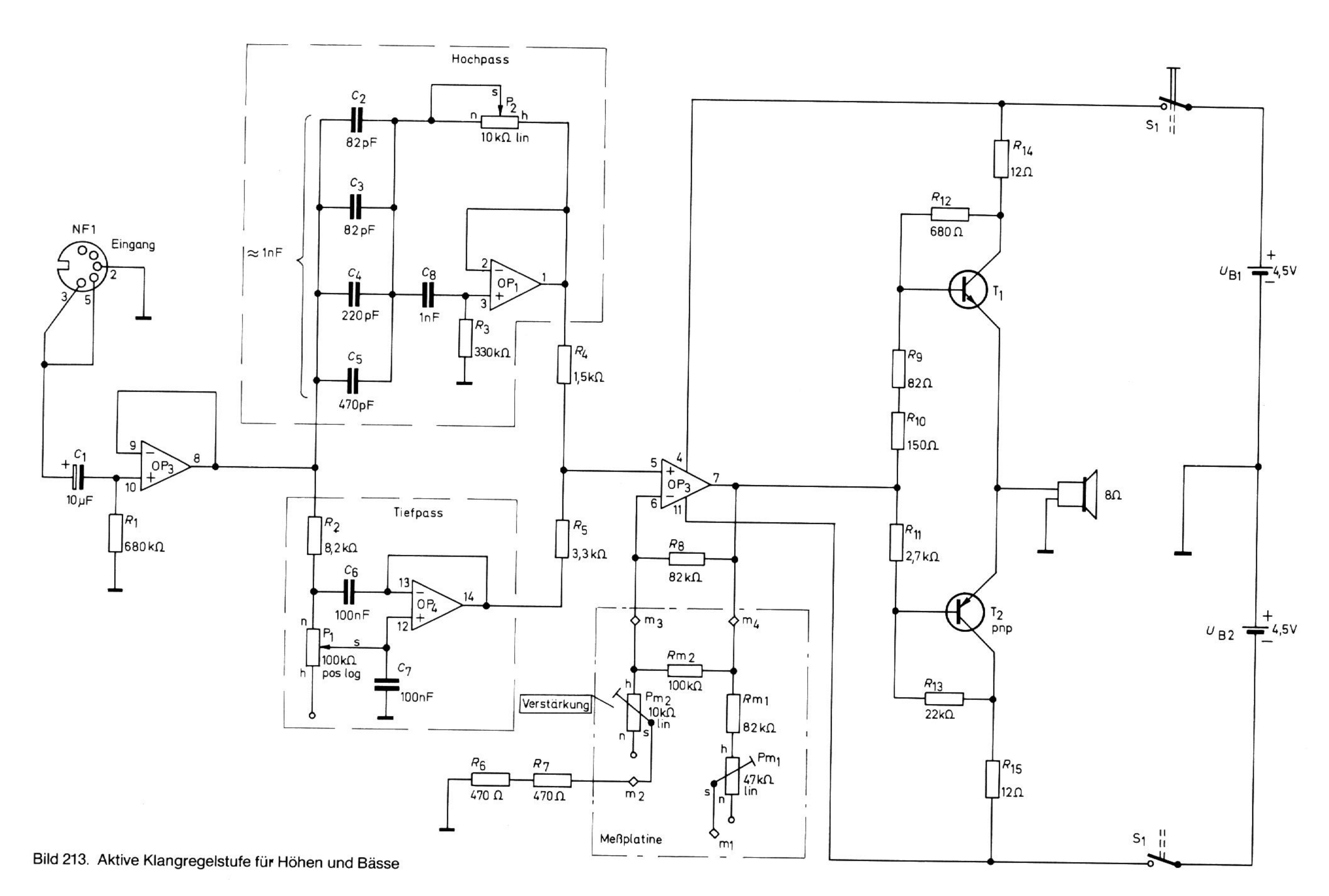


Bild 213. Aktive Klangregelstufe für Höhen und Bässe

Die Verstärkung der Endstufe kann mit dem Potentiometer P_{m2} auf der Meßplatine eingestellt werden.

36. Elektronisches Vogelgezwitscher

(Aufbaubild 214, Schaltbild 215, Seite 146)

Das elektronische Vogelgezwitscher kann mit den Potentiometern P_1 und P_2 so eingestellt werden, daß es sich anhört, als sänge ein Kanarienvogel.

Die Frequenz des Rechteckgenerators mit OP_3 ist durch den Schalter S_2 umschaltbar. Der Kondensator C_2 lädt sich über das Potentiometer P_1 je nach Einstellung langsam auf das Ausgangspotential des OP_3 auf. Der Spannungsteiler R_5, R_6 des Tongenerators mit OP_2 liegt mit seinem Fußpunkt nicht wie üblich an Masse, sondern an C_2. Mit dem Potentiometer P_2 kann der Tongenerator mit OP_2 auf eine bestimmte Grundfrequenz eingestellt werden, die

Bild 214. Aufbaubild elektronisches Vogelgezwitscher

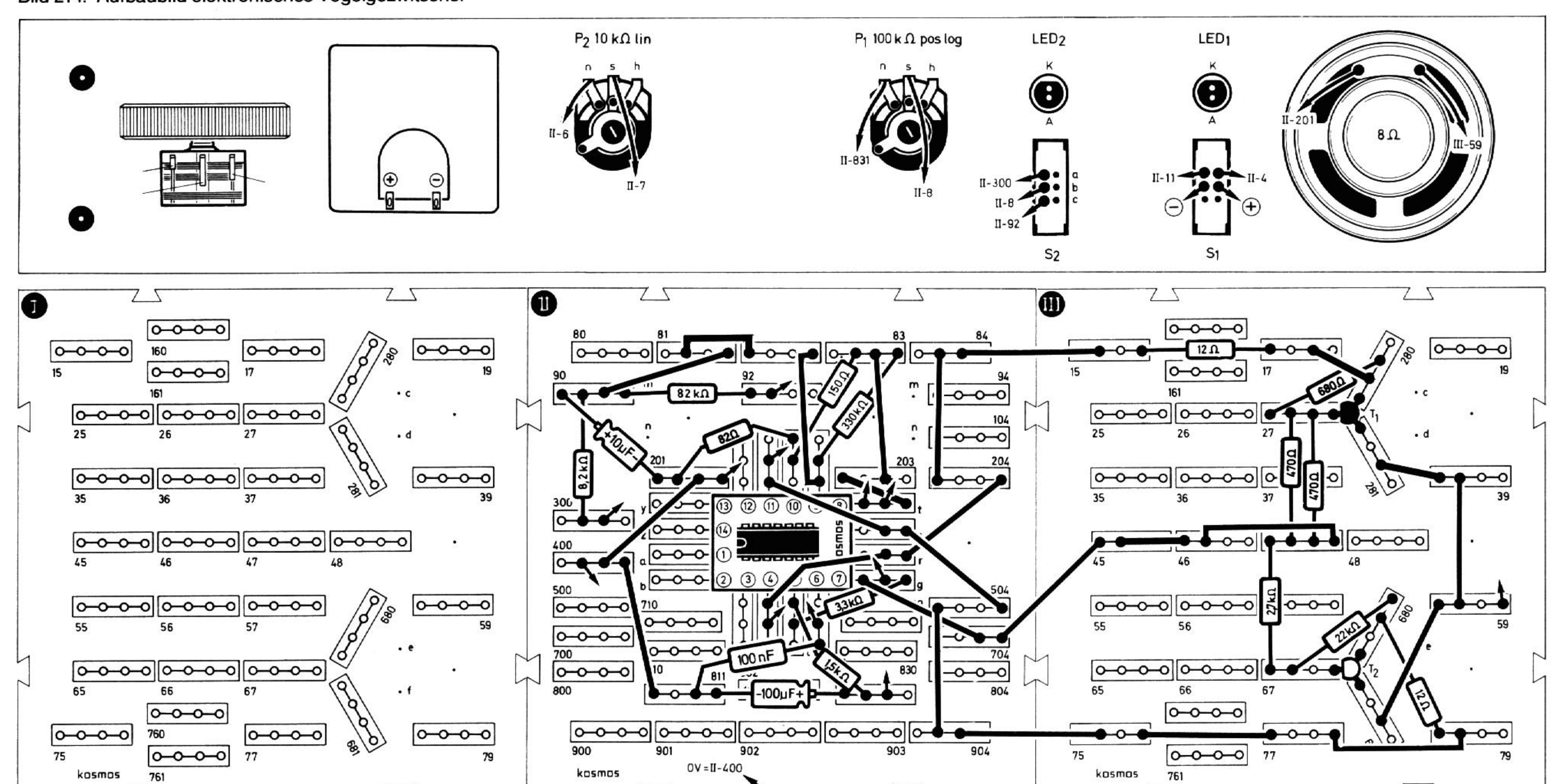
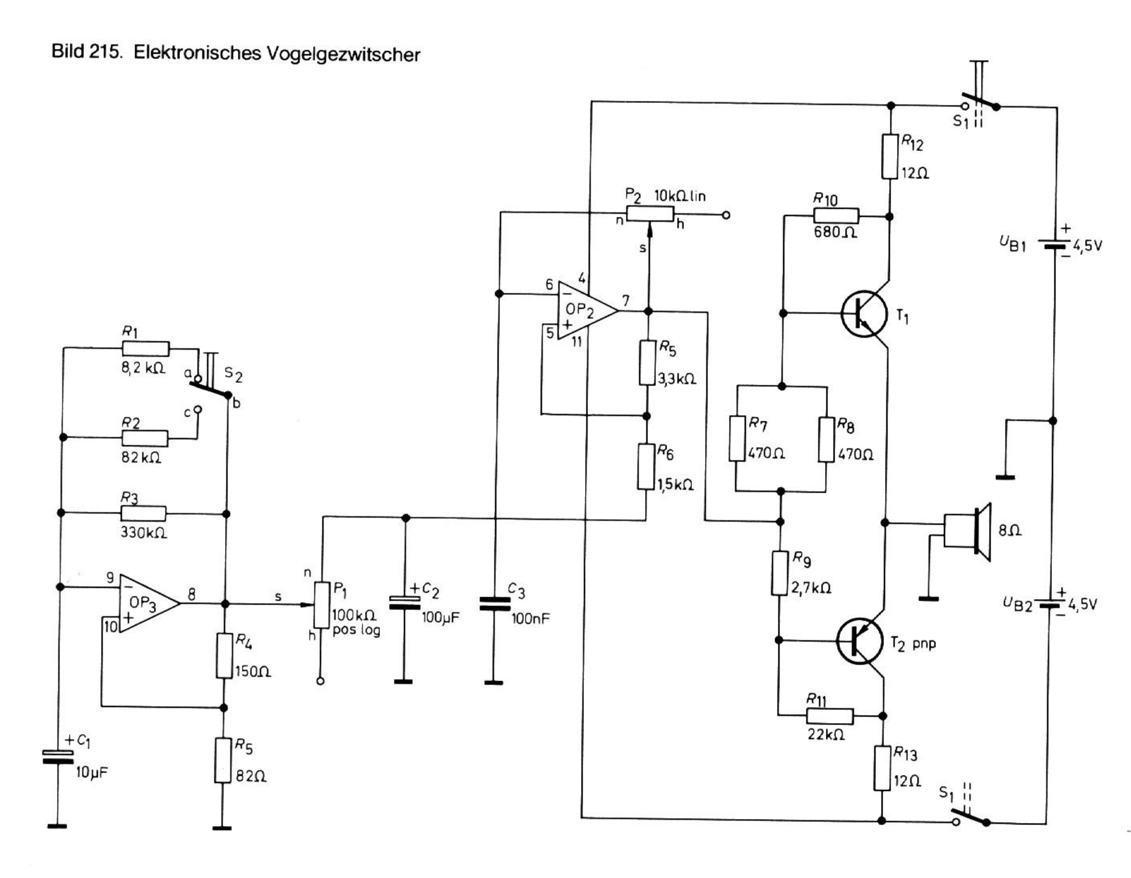


Bild 215. Elektronisches Vogelgezwitscher



sich je nach Ladung von C_2 verändert. Es ergibt sich ein auf- und abschwellender Ton, ähnlich einer Sirene, der durch geschicktes Einstellen mit P_1 und S_2 sowie P_2 bis zu einem kanarienvogelähnlichen Gezwitscher verstellt werden kann. T_1 und $T_{2\,pnp}$ bilden zusammen wieder die Gegentaktendstufe.

37. Fernsteuerung per Haustelefon

(Aufbaubild 216, Schaltbild 217, Seite 148)

Mit dieser Schaltung kann man über Haustelefon ein elektrisches Gerät, wie zum Beispiel eine Tischlampe, einen Grill oder einen Heizlüfter bis max. 2000 Watt, ein- oder ausschalten. Als Schalter für die Netzspannung dient das KOSMODYNE® B.

Der Telefonapparat wird direkt über dem Lautsprecher, der hier als Mikrofon dient, auf den Aufbau gestellt, denn das Klingeln des Telefons soll als Steuersignal wirken. Mit dem Potentiometer kann eingestellt werden, auf welche Anzahl von Klingelsignalen die Anlage ansprechen soll. Bei dieser Zahl von Klingelzeichen schaltet sich die Lampe oder der Grill ein und bleibt an, bis durch neuerliche Signale derselben Anzahl das Gerät wieder abgeschaltet wird.

Günstig ist es, wenn das Gerät nicht schon bei zwei- oder dreimaligem Klingeln anspricht, weil sonst die Gefahr besteht, daß ein fremder Anrufer das Gerät schaltet.

Mit dem Schalter S_2 kann man vorwählen, ob das Gerät ein- oder ausgeschaltet werden soll, je nach dem Verwendungszweck.

Da die Schaltung auf Geräusche reagiert, kann man sie mit Händeklatschen testen und einstellen. Die beiden Leuchtdioden LED_1 und LED_2 zeigen die Funktion an.

Der Lautsprecher wird in dieser Schaltung als Mikrofon benutzt, der das akustische Signal der Telefonklingel in eine elektrische Spannung umsetzt. Diese Spannung wird von OP_4 verstärkt und gelangt über C_1 an den Eingang des Schmitt-Triggers mit OP_1. Die entstehenden Rechtecksignale gehen über C_2 an die Dioden D_1 und D_2. Abhängig von der Schalterstellung des Schalters S_2 ist nun der Ausgang des Schmitt-Triggers mit OP_3 entweder positiv oder negativ. Ist der Ausgang positiv, so leitet der Transistor T_1, und die Diode D_1 hat Verbindung mit Masse. Das bedeutet, daß alle von OP_1 kommenden positiven Signale durch die Diode D_1 auf ca. 0,5 V begrenzt werden. Für die negativen Si-

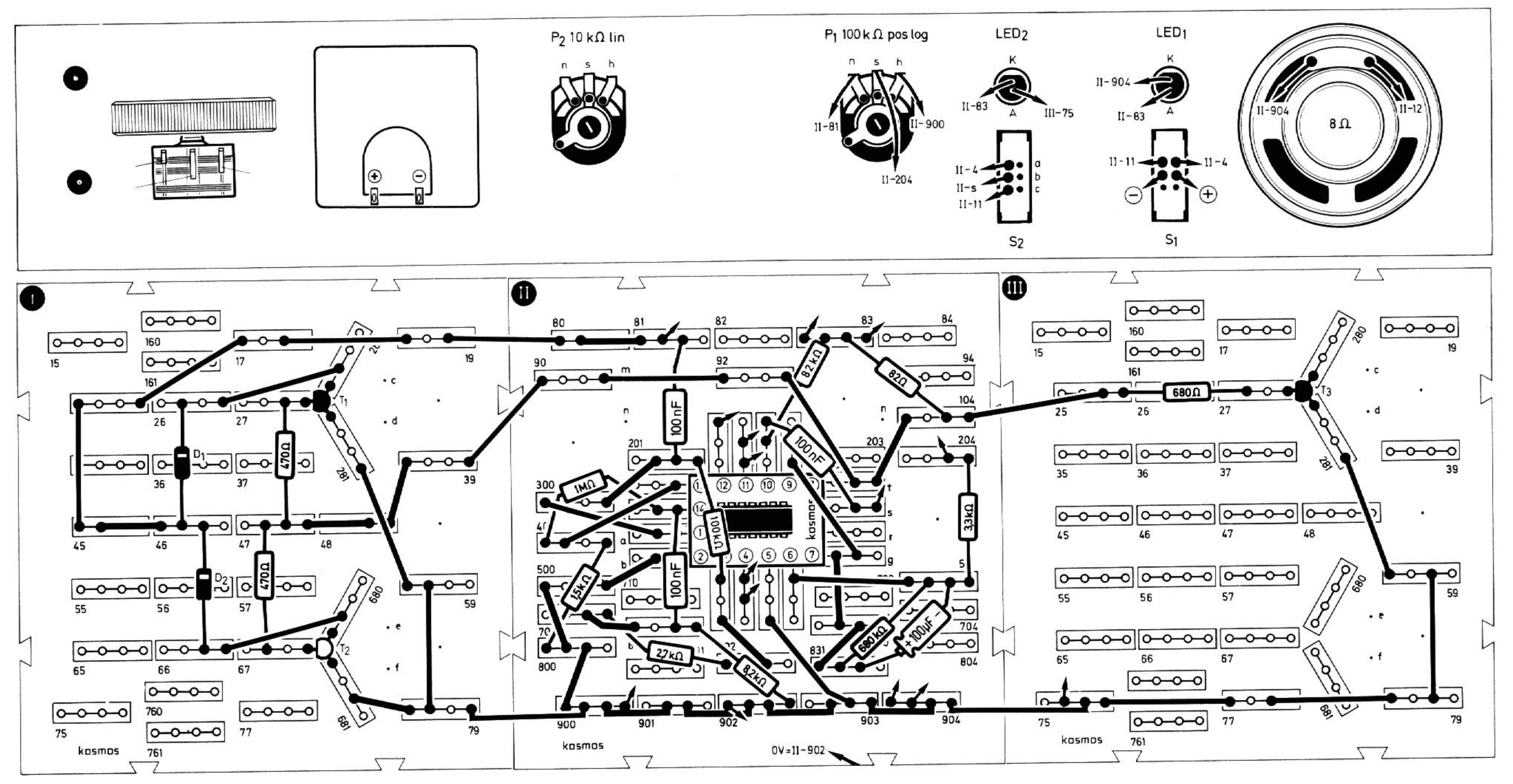
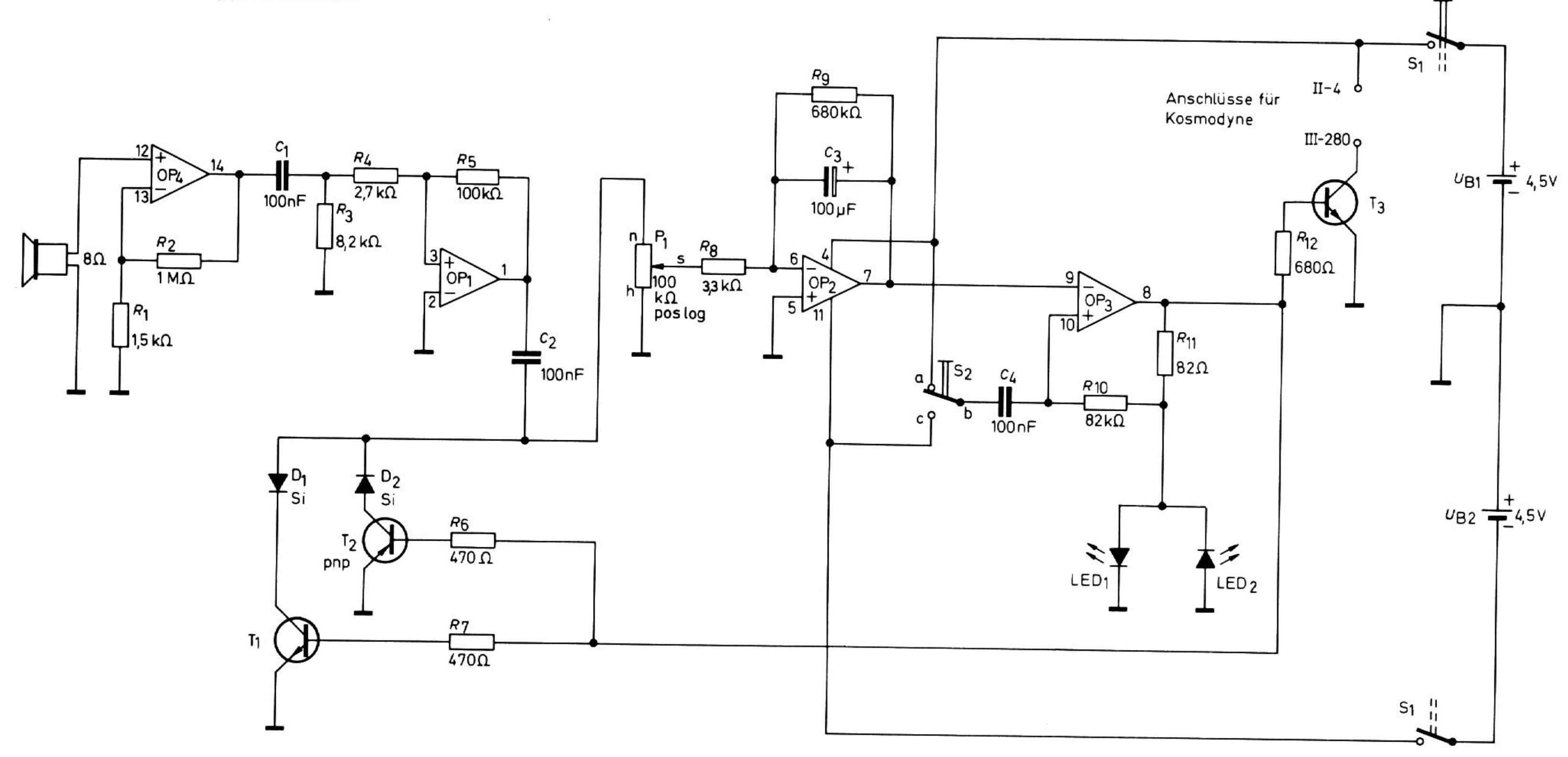


Bild 216. Aufbaubild Fernsteuerung per Haustelefon

gnale ist D_1 in Sperr-Richtung gepolt. Sie werden also nicht begrenzt. Am Eingang des Integrierers mit OP_2 liegt also eine überwiegend negative Spannung an, und die Ausgangsspannung des Integrierers wird positiver. In den Klingelpausen, während keine Signale von OP_1 kommen, hält der Integrierer seine Ausgangsspannung nahezu konstant. Die Ausgangsspannung steigt also mit jedem Klingelzeichen etwas an. Ist der durch die LEDs bestimmte Ansprechwert (1,6 V) des Schmitt-Triggers mit OP_3 erreicht, so schaltet er seinen Ausgang nach Minus. Die Transistoren T_3 und T_1 sperren, LED_1 erlischt und LED_2 leuchtet auf. Das über das KOSMODYNE® B angeschlossene Gerät wird ausgeschaltet. Der Ausgang von OP_3 ist nun negativ, und der Transistor $T_{2\,pnp}$ ist leitend. Nun hat die Diode D_2 Masseverbindung, die von OP_1 kommenden negativen Signale werden auf ca. 0,5 V begrenzt.

Bild 217. Fernsteuerung per Haustelefon



Die wirksame Eingangsspannung am Integrierer ist nun positiv. Seine Ausgangsspannung wird sich bei eintreffenden Signalen also in negativer Richtung verändern. Wird nun wieder die Schwellenspannung von OP_3 erreicht, so wird dessen Ausgangsspannung wieder positiv. LED_2 erlischt und LED_1 leuchtet auf, und das zu steuernde Gerät wird eingeschaltet.

Nach dem Einschalten des KOSMODYNE® B sinkt die durch die Steuersignale aufgebaute Auslösespannung innerhalb von 5 Minuten ab. Klingelt es öfter als eingestellt, so kehren sich die Signalimpulse nach dem Auslösen des Triggers um und beschleunigen das Zurückgehen der Auslösespannung auf Null. Klingelt es noch öfter, beginnt sich die Ausschaltspannung wieder aufzubauen.

38. Treppenspannungsgenerator

(Aufbaubild 218, Schaltbild 219, Seite 150)

Mit dem Treppenspannungsgenerator kann eine treppenförmig ansteigende Spannung erzeugt werden. Zunächst wird durch Einschalten von S_2 der Zeiger des Meßgerätes auf Null gebacht. Wird S_2 ausgeschaltet, beginnt der Zeiger ruckartig nach rechts zu wandern.

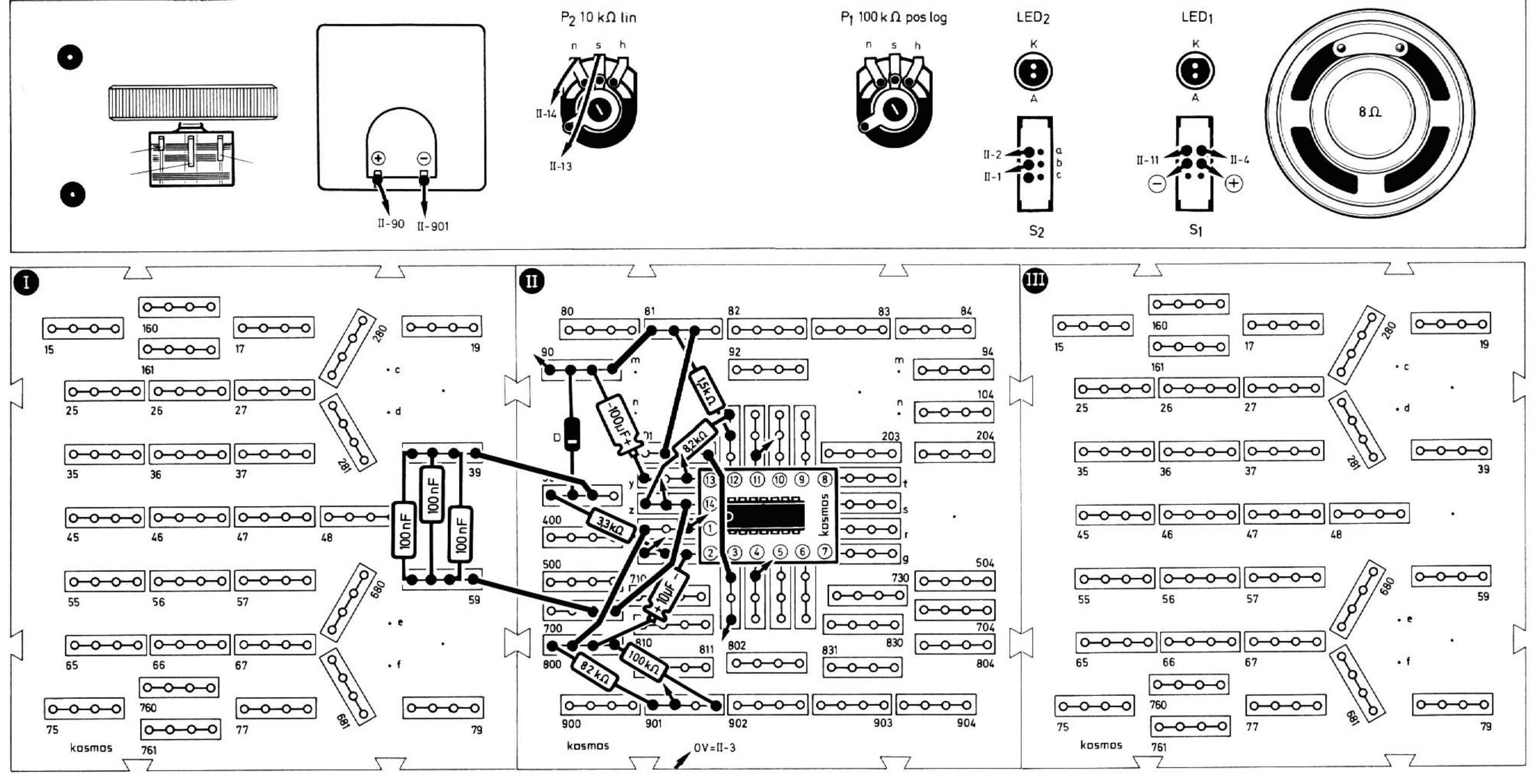
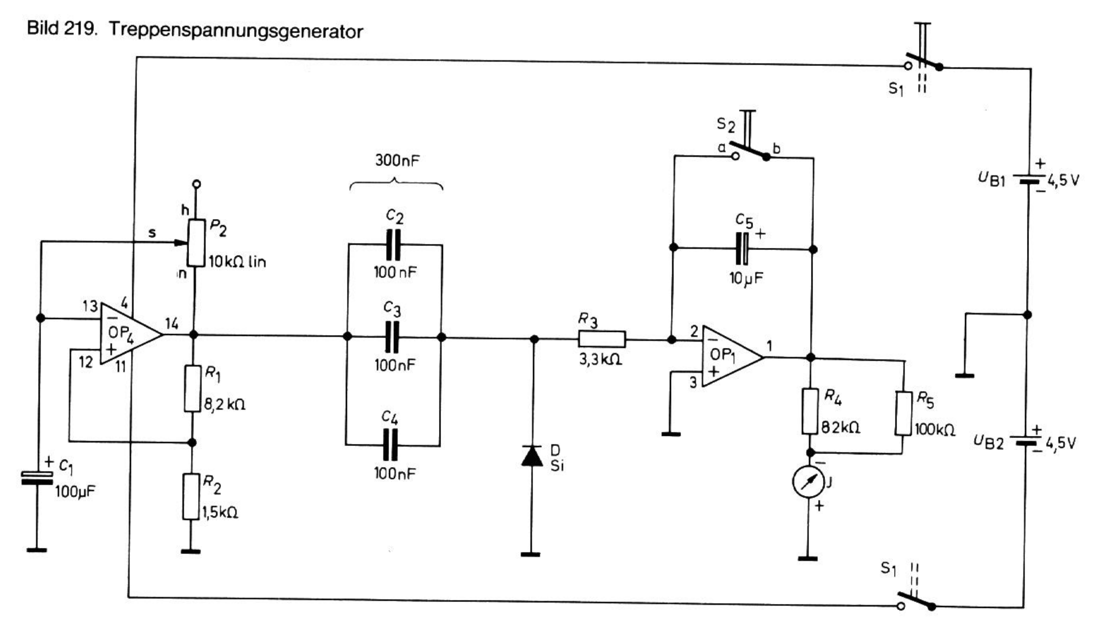


Bild 218. Aufbaubild Treppenspannungsgenerator

Die Schaltung besteht aus einem astabilen Multivibrator mit OP_4 und einem Integrierer mit OP_1. Die von OP_4 kommenden Rechteckimpulse werden mit der Kondensatorkombination C_2, C_3 und C_4 zu nadelförmigen Impulsen umgeformt. Die Diode begrenzt die negativen Impulse auf ca. 0,5 V. Für positive Impulse ist sie in Sperr-Richtung geschaltet. Diese werden daher nicht begrenzt. Die wirksame Eingangsspannung am Integrierer ist also positiv. Die Ausgangsspannung steigt mit jedem Impuls um einen bestimmten Betrag an. Während der Zeit, in der kein Impuls eintrifft, verändert sich die Ausgangsspannung nicht. Hat der Integrierer seine höchstmögliche Ausgangsspannung erreicht, bleiben die weiter eintreffenden Impulse wirkungslos. Mit dem Schalter S_2 kann man den Kondensator C_1 entladen, und der Vorgang wiederholt sich. Mit P_2 wird die Frequenz des Rechteckgenerators verän-

Bild 219. Treppenspannungsgenerator



dert. Der ganze Vorgang kann am Meßinstrument beobachtet werden.

Die Schaltung bildet auch das Kernstück der Telefonfernsteuerung.

39. Elektronisches Präzisionsthermometer mit Direktanzeige

(Aufbaubild 220, Schaltbild 221, Seite 152)

Diese Schaltung kann man als elektronisches Thermometer und unter Zuschaltung des KOSMODYNE® B (Aufbauplatte III, St 35 und 56) auch als Thermostat verwenden.

Der Transistor T_1 dient als Wärmefühler. Mit seiner Hilfe wird zuerst das Thermometer abgeglichen, dessen Anzeigebereich von 0 °C bis + 100 °C reicht. Man braucht dazu Eiswürfel, die in einen Plastikbeutel gefüllt werden. Sobald das Eis zu schmelzen beginnt, legt man den Beutel vorsichtig auf den Transistor T_1 und wartet, bis er die Temperatur des Eiswassers angenommen hat. In der Zwischenzeit dreht man das Potentiometer P_{m2} nach h, weil das Meßgerät dann am empfindlichsten ist.

Am Meßgerät kann man beobachten, wie die Temperatur langsam fällt. Wenn der Zeiger zur Ruhe gekommen ist, stellt man ihn mit P_{m1} auf 0 ein.

Für den zweiten Abgleichpunkt bei 50 ° hält man eine 60-Watt-Lampe oder einen Föhn in geringem Abstand über den Transistor T_1 sowie ein normales Thermometer, das anzeigt, wann 50 ° erreicht sind. Dann stellt man den Zeiger mit P_{m2} auf 50 ° = 5 auf der Skala ein. Damit ist das Thermometer abgeglichen.

Wenn man die Schaltung als Thermostat einsetzen will, stellt man die Temperatur, bei der der Thermostat schalten soll, mit dem Potentiometer P_2 ein. Wird zum Beispiel ein Heizofen über das KOSMODYNE® B eingeschaltet, muß man darauf achten, daß er nicht zu nah bei der Schaltung steht, weil der Transistor als Temperaturfühler sonst früher warm würde als der übrige Raum, so daß der Thermostat abschaltet.

Bei dieser Schaltung verwenden wir den Transistor T_1 als Wärmefühler. Dabei nützen wir eine unerwünschte Eigenschaft des Transistors aus: Die Basis-Emitter-Spannung ist temperaturabhängig. Sie fällt mit steigender Temperatur um 2,4 mV pro Grad Celsius bei einem konstanten Emitter-Strom von 200 µA. Dieser Strom wird in unserer Schaltung durch den Widerstand R_1 bestimmt. Der Anzeigebereich des Thermometers reicht von 0 °C bis + 100 °C.

Beim Abgleichen geht es darum, die Basis-Emitter-Spannung des Transistors T_1 bei 0 °C zu kompensieren, die dann bei ca. 630 mV liegt. Die Kompensation erfolgt durch eine etwa gleich große Spannung von umgekehrter Polarität. Diese Spannung stellen wir mit dem Potentiometer P_{m1} ein, wenn wir das Meßgerät auf 0 °C abgleichen. Wird der Transistor nun auf 50 °C erwärmt, fällt seine Basis-Emitter-Spannung auf ca. 490 mV. Die Differenz zwi-

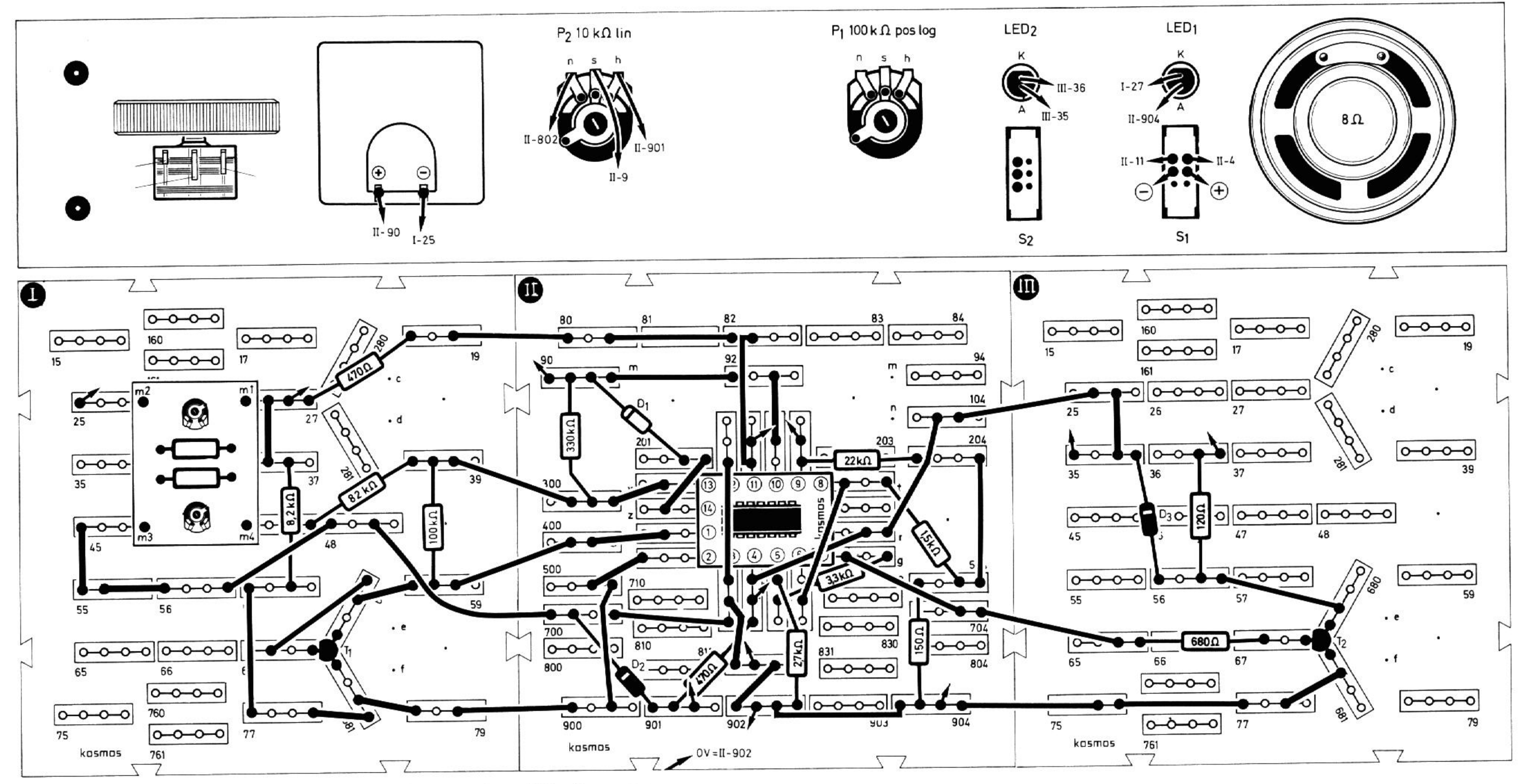


Bild 220. Aufbaubild elektronisches Präzisionsthermometer mit Direktanzeige

schen 630 mV und 490 mV wird von OP_4 verstärkt dem Meßinstrument zugeführt. Ein großer Vorteil des Transistors als Wärmefühler liegt in der Linearität des Zusammenhangs zwischen Temperatur und Basis-Emitter-Spannung. Der Thermostat besteht aus den Operationsverstärkern OP_2 und OP_3. OP_3 ist ein Differenzverstärker. Sein nichtinvertierender Eingang liegt am Ausgang von OP_4. Die Ein- bzw. Ausschalt-Temperatur für den Thermostaten wird mit P_2 eingestellt, d. h. die Spannung am invertierenden Eingang von OP_3 bestimmt den Schaltpunkt des Thermostaten. Die Widerstandskombination R_8, R_9 und R_7 bewirkt eine hohe Verstärkung von OP_3. Der nachgeschaltete Schmitt-Trigger mit OP_2 sorgt für einen exakten Schaltpunkt des Thermostaten. Wird die mit P_2 eingestellte Temperatur unterschritten, so wird die Ausgangsspannung von OP_3 negativ, und OP_2 schaltet seinen Ausgang

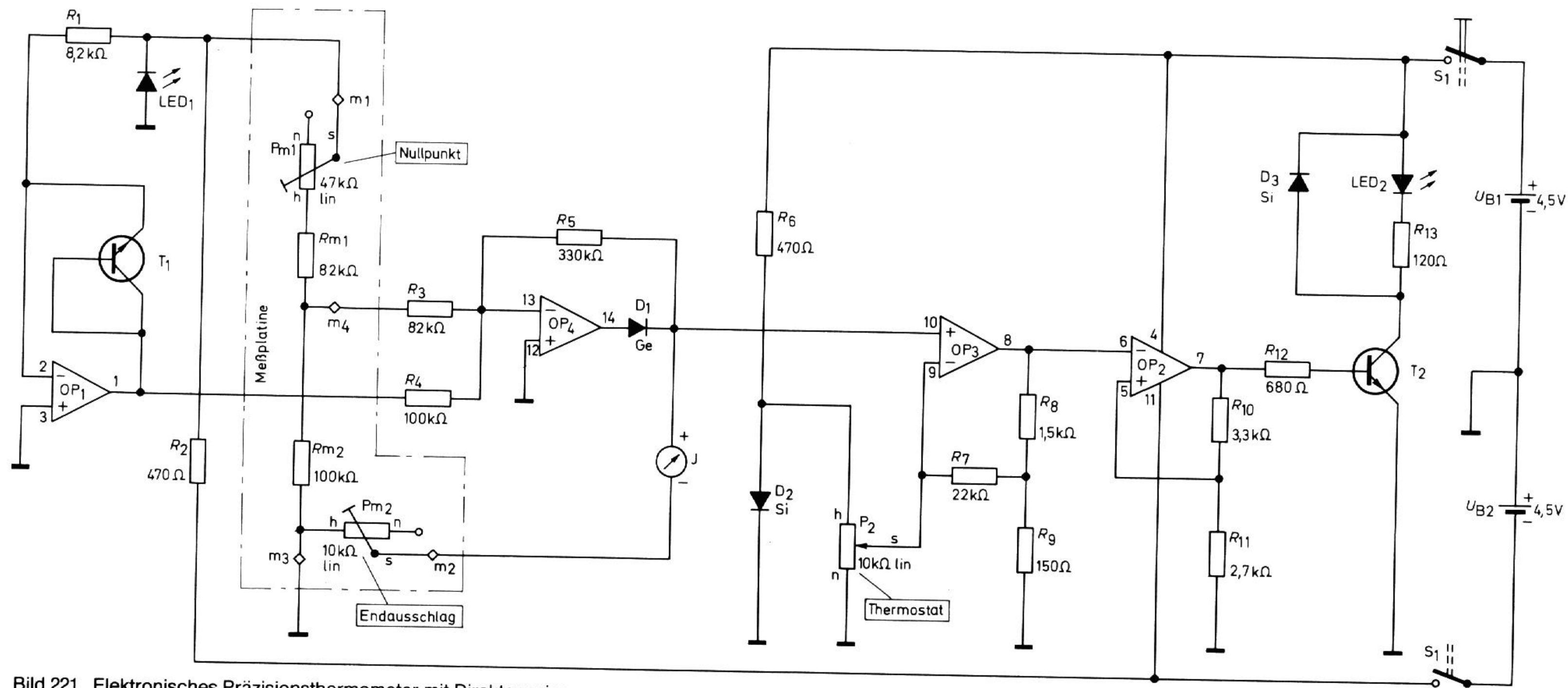


Bild 221. Elektronisches Präzisionsthermometer mit Direktanzeige

schlagartig nach Plus. Der Transistor T_2 wird leitend. Die Leuchtdiode LED_2 leuchtet auf, und ein eventuell angeschlossenes KOSMODYNE® B schaltet einen Heizofen an. Steigt nun die Temperatur wieder über den mit P_2 eingestellten Temperaturwert, so wird die Ausgangsspannung von OP_3 positiv, OP_2 schaltet seinen Ausgang nach Minus, T_2 sperrt, LED_2 erlischt, und über das Netzsteuergerät wird der Heizofen ausgeschaltet. Der Regelbereich des Thermostaten umfaßt ca. 0 bis + 80 °C.

Durch einen kleinen Trick können wir mit unserem Thermometer auch negative Temperaturen messen. Wir müssen dazu nur die Diode D_1 und das Meßinstrument umpolen.

Ähnlich dem OP-Modell (Bild 116) ist auch dieser Thermostat ein Regelkreis.

40. Stromstoßschalter

(Aufbaubild 222, Schaltbild 223, Seite 154)

Durch Tastendruck wird bei dieser Schaltung durch das Entladen des Kondensators *C* ein Stromstoß ausgelöst, so daß der elektronische Schalter umspringt. Durch abermaliges Drücken derselben Taste springt der Schalter wieder in seine Ursprungslage zurück.

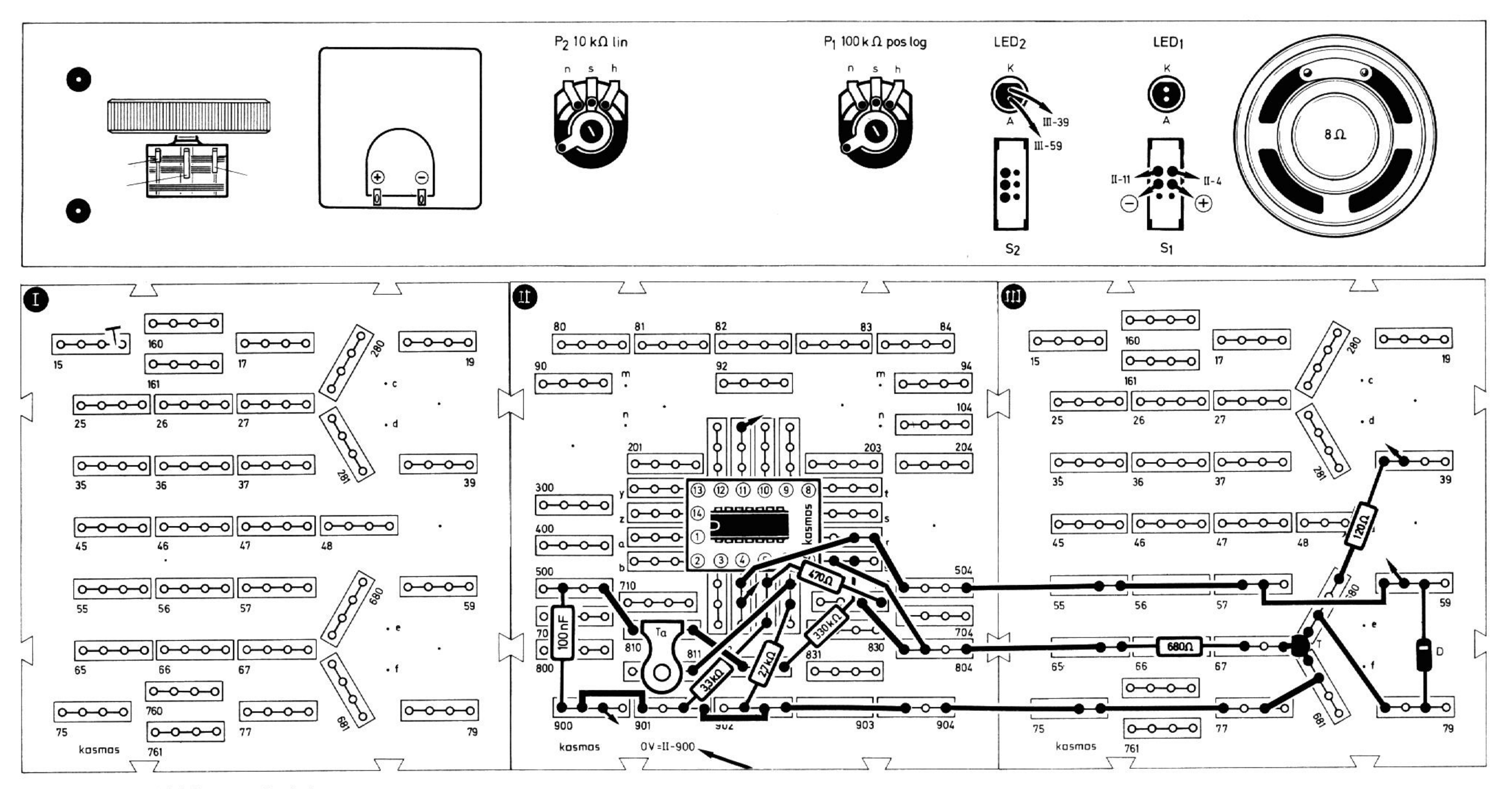
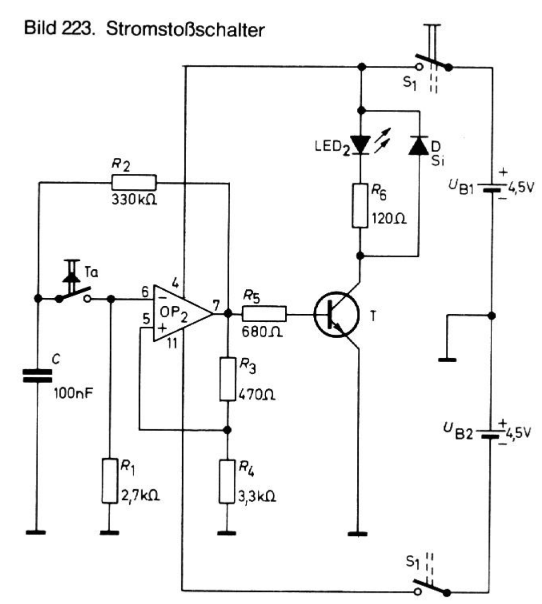


Bild 222. Aufbaubild Stromstoßschalter

Bei dieser Schaltung arbeitet der Operationsverstärker OP_2 als Schmitt-Trigger.

Bei unserer Betrachtung wollen wir davon ausgehen, daß der Schalter S_1 und der Taster Ta betätigt worden sind. Der Ausgang ist gerade positiv. In diesem Fall leitet T und LED_2 leuchtet. Der Kondensator C_1 lädt sich über R_2 positiv auf. Wird nun der Taster Ta wieder gedrückt, gelangt positive Spannung an den invertierenden Eingang des Operationsverstärkers. Am Ausgang erscheint dann eine negative Spannung. Der Schmitt-Trigger schaltet um, und C_1 lädt sich negativ auf. Gleichzeitig sperrt T, und LED_1 erlischt. Beim nächsten Betätigen von Ta wird der Ausgang des Operationsverstärkers wieder positiv. Die Trigger-Schaltung funktioniert wie ein Umschalter.

Bild 223. Stromstoßschalter



41. Zeitschalter bis 30 Minuten

(Aufbaubild 225, Schaltbild 224,)

Mit dem Zeitschalter kann man über das KOSMODYNE® B elektrische Geräte, wie zum Beispiel eine Schaltuhr zum Entwickeln und Vergrößern von Filmen in der Dunkelkammer, einen Eierkocher oder eine Lichtautomatik für Garten, Speicher oder Garage, je nach Bedarf einschalten.

Die Einschaltzeit wird beeinflußt durch die Größe der Kondensatoren C_5 (10 µF = kurz) und C_6 (wahlweise 100 µF = mittel und 470 µF = lang), die Stellung des Schalters S_2 (oben = kürzer, unten = länger) und das Aufdrehen des Potentiometers P_2 (bei n kürzer, bei h länger).

Die Schaltzeit liegt zwischen wenigen Sekunden und einer halben Stunde. Durch das Berühren der Berührungstaste BT_1 (zusammen mit der Frontplatte) gibt man das Signal für den Beginn der Leuchtzeit, die man mit der Leuchtdiode LED_2 kontrollieren und am Meßgerät beobachten kann. Der Endausschlag des Meßgerätes wird mit dem Potentiometer P_{m2} auf der Meßplatine begrenzt. Mit der Taste BT_2 kann der Einschaltvorgang gestoppt werden, wenn man die Zeit versehentlich falsch eingestellt hat.

Die Schaltung besteht aus zwei Teilen. Der erste mit OP_4 und OP_3 entspricht der Schaltung „Sensor-

Bild 224. Zeitschalter bis 30 Minuten

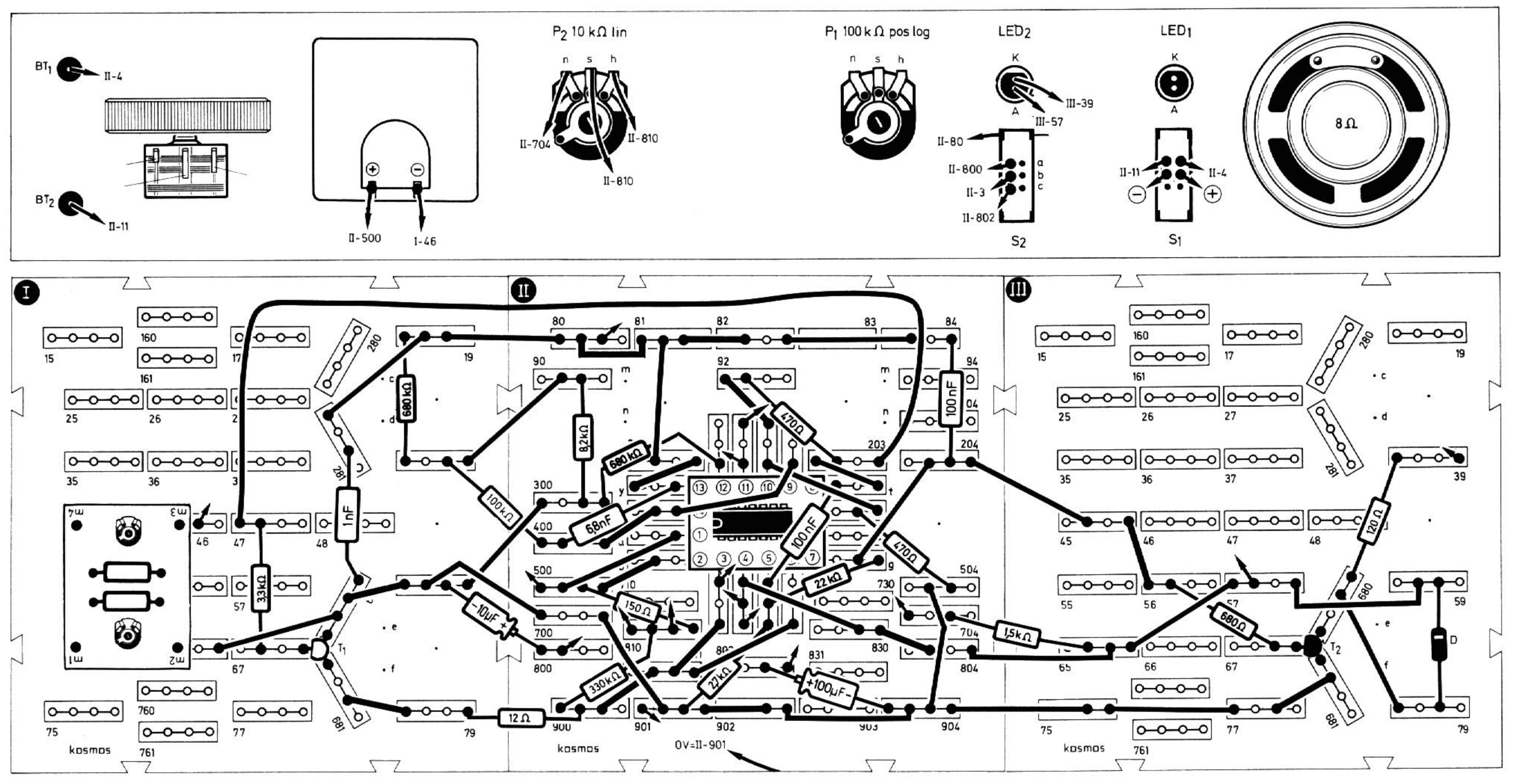


Bild 225. Aufbaubild Zeitschalter bis 30 Minuten

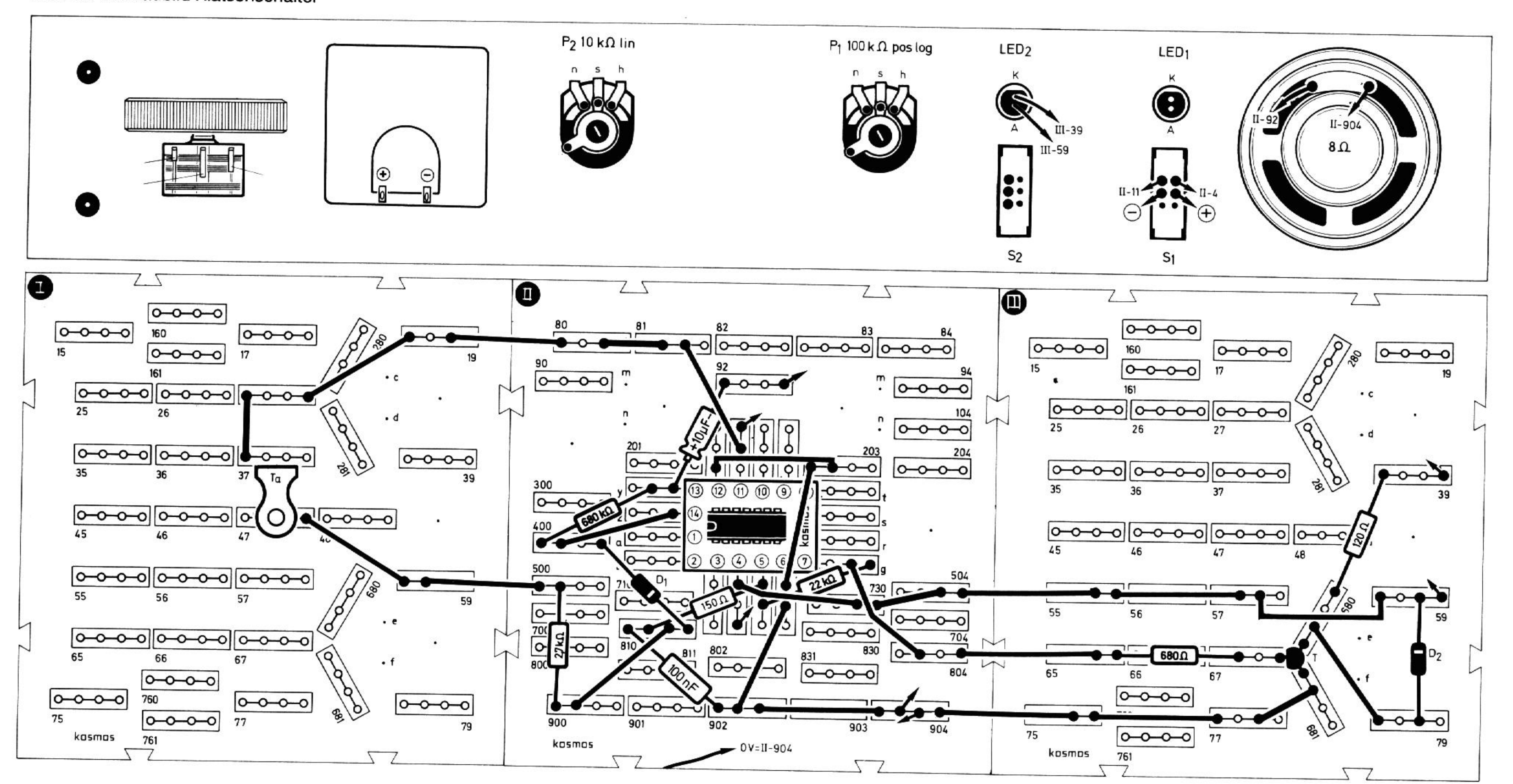
schalter" (Kapitel 51). Der zweite Teil mit OP_2 und OP_1 erzeugt die zeitabhängige Funktion der Schaltung. OP_1 arbeitet hier als Kapazitätsvervielfacher, ähnlich wie OP_4 in der Schaltung „Metronom" (Kapitel 44). Beim Berühren von BT_1 schaltet OP_3 auf bekannte Weise nach Plus. Der Transistor $T_{1\,pnp}$ sperrt dadurch. Der Schmitt-Trigger mit OP_2 bekommt über C_4 den positiven Impuls an seinen nichtinvertierenden Eingang und schaltet seinen Ausgang ebenfalls nach Plus. Der Transistor T_2 leitet, Leuchtdiode LED_2 leuchtet auf. Die Kondensatoren C_5 bzw. C_6 (je nach Stellung von S_2) laden sich über R_{12} und P_2 und den Kapazitätsvervielfacher OP_1 positiv auf. Die Kapazitätsvervielfachung beträgt 2200. Nach einer vom wirksamen Kondensator und P_2 abhängigen Zeit wird die Schwellenspannung des Schmitt-Triggers mit OP_2 erreicht. Dieser schaltet nun seinen Ausgang wieder nach

Minus. Der Transistor T_2 sperrt. Die Leuchtdiode LED_2 erlischt. Gleichzeitig wird dieser negative Impuls über den Kondensator C_3 an den Eingang des Berührungsschalters mit OP_4 zurückgeführt, so daß dieser den Ausgang von OP_3 nach Minus schaltet. Dadurch wird der Transistor $T_{1\,pnp}$ leitend und entlädt über den Widerstand R_8 den wirksamen Kondensator. Die Aufladung des Kondensators kann am Meßgerät beobachtet werden. Der Endausschlag des Meßgeräts muß mit dem Potentiometer P_{m2} auf der Meßplatine eingestellt werden. Bei einem Kondensator von 470 μF und voll aufgedrehtem Potentiometer P_2 liegt die erreichbare Einschaltzeit zwischen 15 und 30 Minuten. Zwischen Kollektor von T_2 und + 4,5 V kann das KOSMODYNE® B angeschlossen werden.

42. Klatschschalter

(Aufbaubild 226, Schaltbild 227)

Bild 226. Aufbaubild Klatschschalter



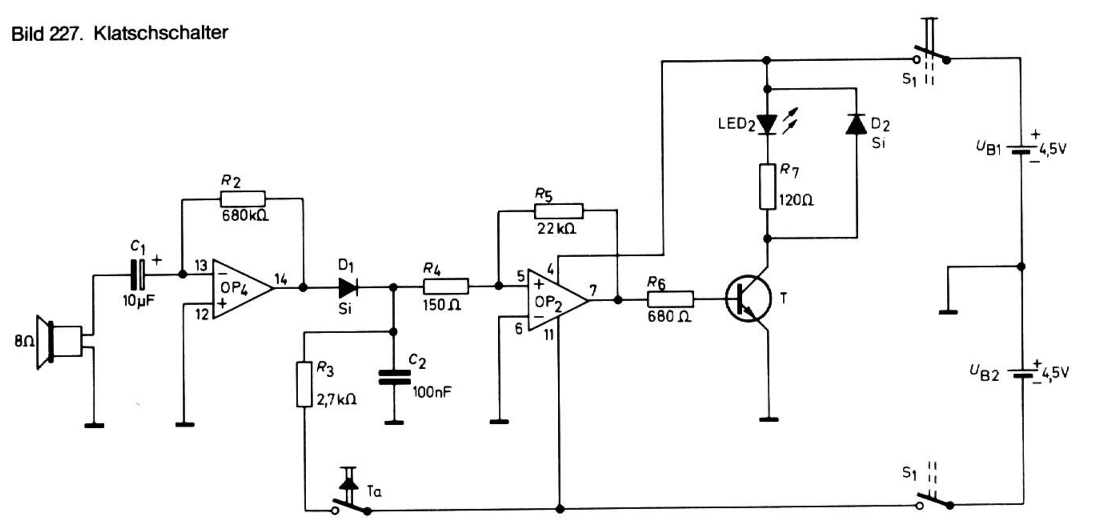


Bild 227. Klatschschalter

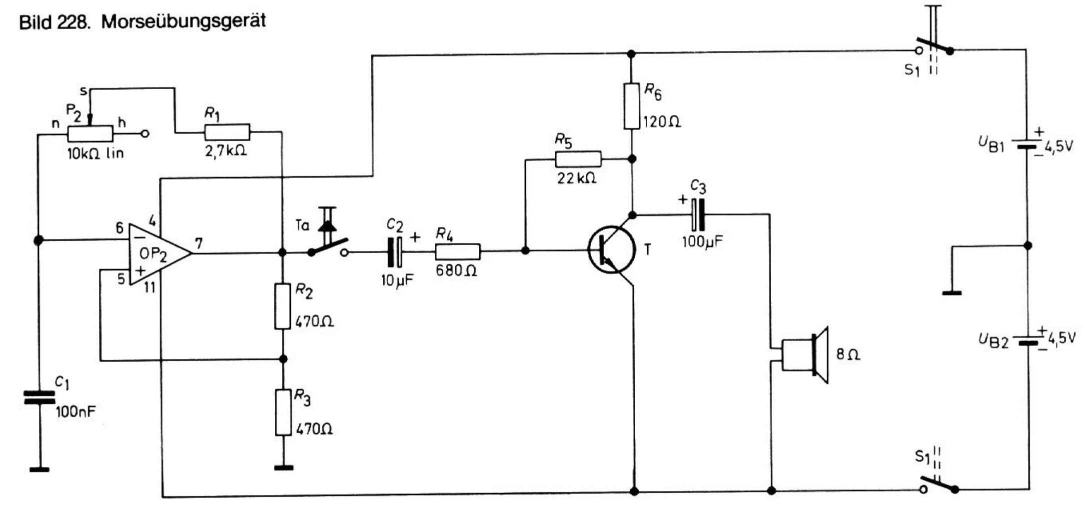


Bild 228. Morseübungsgerät

Ein elektronischer Heinzelmann kann mit dieser Schaltung verwirklicht werden: Klatscht man in die Hände, so geht das Licht an und kann erst durch Tastendruck wieder gelöscht werden.

Der Klatschschalter wird aufgebaut und eingeschaltet. Die LED_2 bleibt dunkel. Wenn man nun in die Hände klatscht, geht die LED an. Durch Drükken von Ta erlischt sie wieder.

Der Lautsprecher dient als Mikrofon. Operationsverstärker OP_4 arbeitet als invertierender Verstärker, der die vom Lautsprecher kommenden Spannungssignale verstärkt. Über die Diode D_1 werden diese Signale gleichgerichtet und der Kondensator C_2 damit aufgeladen. D_1 ist so geschaltet, daß sie nur positive Spannungen durchläßt. Ist ein bestimmter Spannungswert erreicht, schaltet der OP_2 den Transistor T_1 ein, und die LED_2 leuchtet auf.

Der OP_2 arbeitet in diesem Fall als nichtinvertierender Schmitt-Trigger. T_1 bleibt so lange leitend, bis Ta betätigt wird und negative Spannung an den Eingang des nichtinvertierenden Schmitt-Triggers gelangt, der dann umschaltet. Dadurch sperrt T_1.

43. Morseübungsgerät

(Aufbaubild 229, Seite 158, Schaltbild 228)

Mit dem Morsegenerator können künftige Funker ihr Handwerk lernen und sich in der Kunst des Telegraphierens üben.

Der Morsegenerator besteht im wesentlichen aus einem Rechteckgenerator, der uns eine mit dem Potentiometer P_2 veränderbare Tonfrequenz liefert.

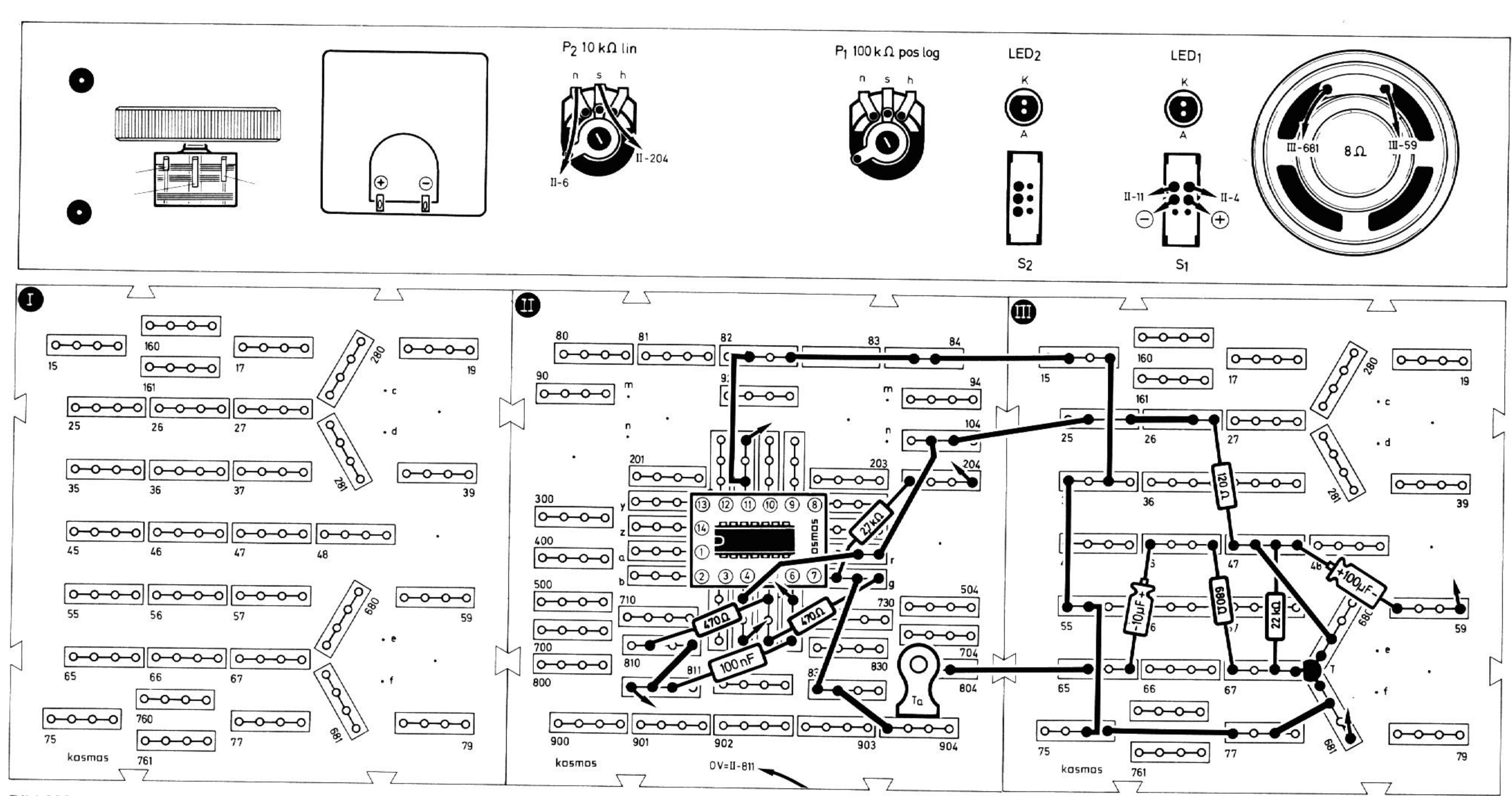


Bild 229. Aufbaubild Morseübungsgerät

Folgende Buchstaben bestehen nur aus Punkten bzw. nur aus Strichen (ein Strich ist so lang wie drei Punkte):

Punkte:		Striche:	
–	e	——	t
– –	i	—— ——	m
– – –	s	—— —— ——	o
– – – –	h	—— —— —— ——	ch

Für die folgenden Buchstaben werden Striche und Punkt gemischt verwendet:

—— –	n	– – ——	u	– —— –	r
—— – –	d	– – – ——	v	—— – ——	k
—— – – –	b	– —— – –	l	– —— ——	w
– ——	a	– – —— –	f	—— —— –	g

Schwer zu behalten sind die letzten und selteneren:

– – —— ——	ü	– —— —— –	p
—— – – ——	x	– —— —— ——	j
—— —— – –	z	—— – —— ——	y
– —— – ——	ä	—— —— – ——	q
—— – —— –	c	—— —— —— –	ö

Zahlen und Zeichen:

– —— —— —— ——	1	—— – – – –	6
– – —— —— ——	2	—— —— – – –	7
– – – —— ——	3	—— —— —— – –	8
– – – – ——	4	—— —— —— —— –	9
– – – – –	5	—— —— —— —— ——	0

Fragezeichen	– – —— —— – –
Punkt	– —— – —— – ——
Komma	—— —— – – —— ——
Spruchanfang	—— – —— – ——
Spruchende	– —— – —— –
Klammer auf	—— – —— —— – ——
Klammer zu	—— – —— —— – ——
Bruchstrich	—— – – —— –
Bindestrich	—— – – – – ——
Doppelstrich	—— – – – ——
Warten	– —— – – –
Verstanden	– —— –
Kommen	—— – ——
Irrung	– – – – – – – – (8 Punkte)

Mit Ta wird diese Tonfrequenz auf die Endstufe mit T gegeben und damit im Lautsprecher hörbar gemacht. Wir erzeugen also mit Ta die kurzen und langen Impulse des Morsealphabets.

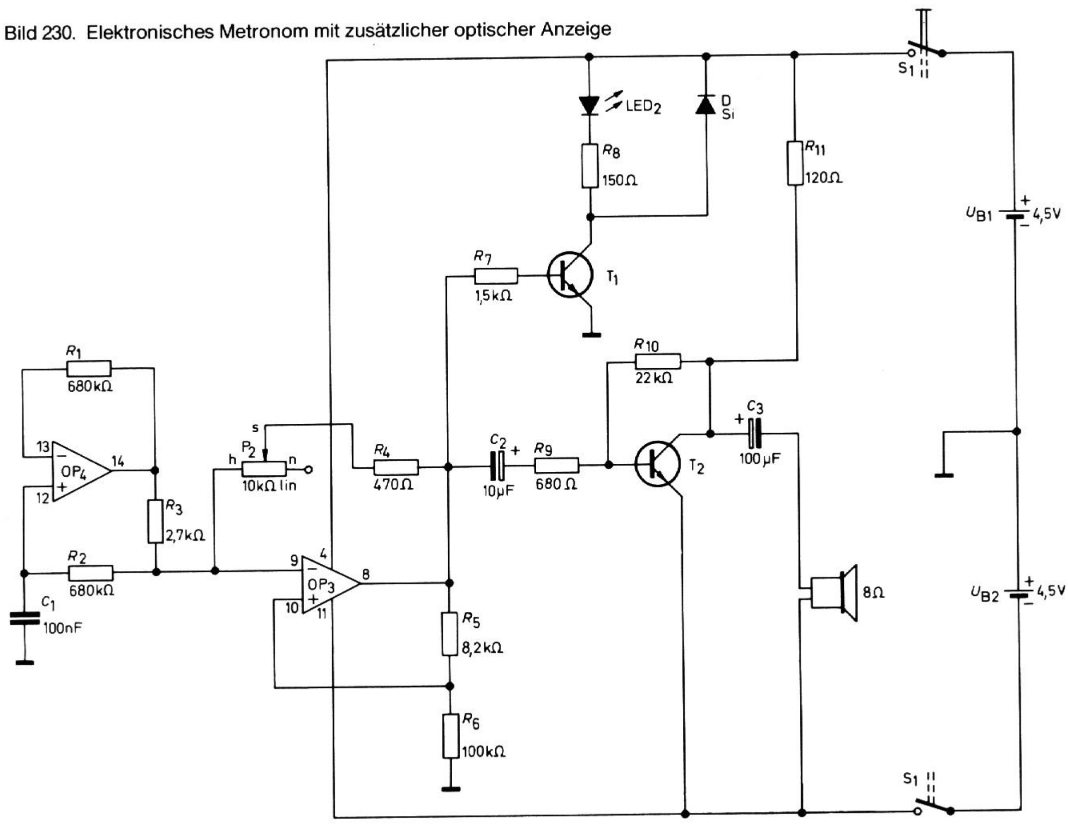
Nebenstehend ist das Morsealphabet abgedruckt. Im Schiffsfunkverkehr spielen Morsezeichen auch heute noch eine Rolle.

44. Elektronisches Metronom mit zusätzlicher optischer Anzeige

(Aufbaubild 231, Seite 160, Schaltbild 230)

Musikfreunde kennen den streng aussehenden Kasten, das Metronom, dessen Zeiger sich hin- und herbewegt und dabei durch ein Knackgeräusch den Takt angibt.

Bild 230. Elektronisches Metronom mit zusätzlicher optischer Anzeige



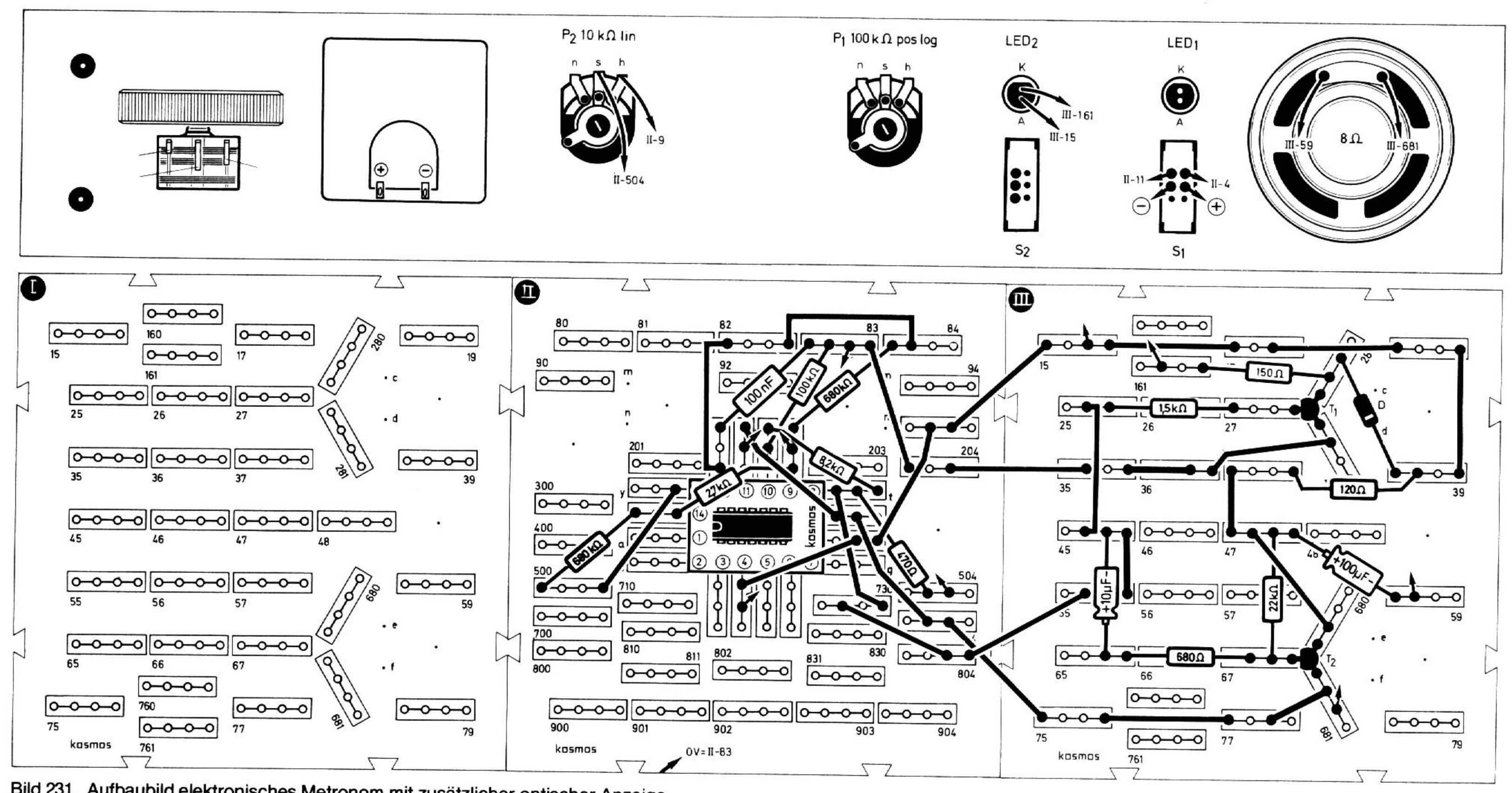


Bild 231. Aufbaubild elektronisches Metronom mit zusätzlicher optischer Anzeige

Elektroniker können sich ihr eigenes Metronom natürlich selbst aufbauen.

Das Besondere an dieser Schaltung ist, daß mit einem relativ kleinen Kondensator von nur 100 nF tiefe Frequenzen erzeugt werden. Mit dem Operationsverstärker OP_4 wird eine Kapazitätsvervielfachung von C_1 vorgenommen. Die Höhe der Vervielfachung hängt von dem Verhältnis R_2 zu R_3 ab und beträgt im vorliegenden Fall etwa 250, d. h. mit dem 100-nF-Kondensator wirkt die Schaltung wie eine Kapazität von 25 µF. Diese Kapazität wird wie üblich bei Rechteckgeneratoren zwischen dem Minus-Eingang von OP_3 und Masse angeschlossen. Mit dem Potentiometer P_2 kann der Takt in weiten Grenzen variiert werden.

Über den Transistor T_1 wird im selben Rhythmus die LED_2 angesteuert. Der Takt wird über die Endstufe mit T_2 hörbar gemacht.

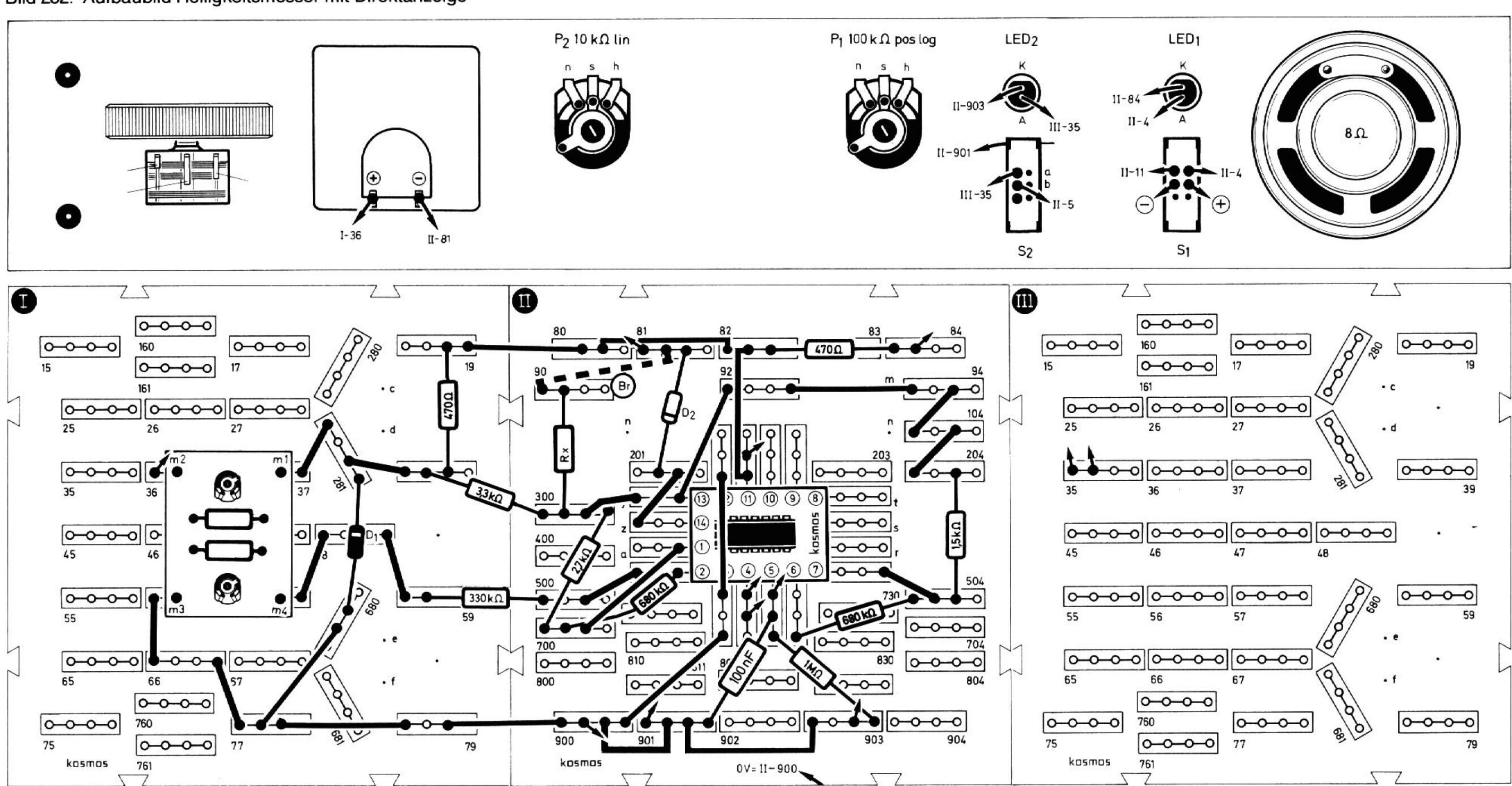
45. Helligkeitsmesser mit Direktanzeige

(Aufbaubild 232, Schaltbild 233)

Helligkeitsmesser finden z. B. Anwendung als Belichtungsmesser in der Fotografie und um die richtige Beleuchtung am Arbeitsplatz sicherzustellen.

In unserem Helligkeitsmesser dient die Leuchtdiode LED_2 als Lichtempfänger. Sie erzeugt je nach Beleuchtung einen dem Helligkeitswert entsprechenden Strom, der bei normaler Raumbeleuchtung (etwa 400 Lux) den Wert von ca. 4 nA hat. Wir bauen den Helligkeitsmesser für den Bereich von 1000 lx auf. Als R_x nehmen wir einen 82-kΩ-Widerstand. Die Brücke Br ist eingesteckt. Wenn S_2 ausgeschaltet ist (Stellung unten), stellen wir das Meßgerät mit dem Potentiometer P_{m1} auf der Meßplatine auf 0 ein. Dann öffnen wir S_2 und stellen den Endausschlag mit P_{m2} ein. Bei normaler Raumbe-

Bild 232. Aufbaubild Helligkeitsmesser mit Direktanzeige



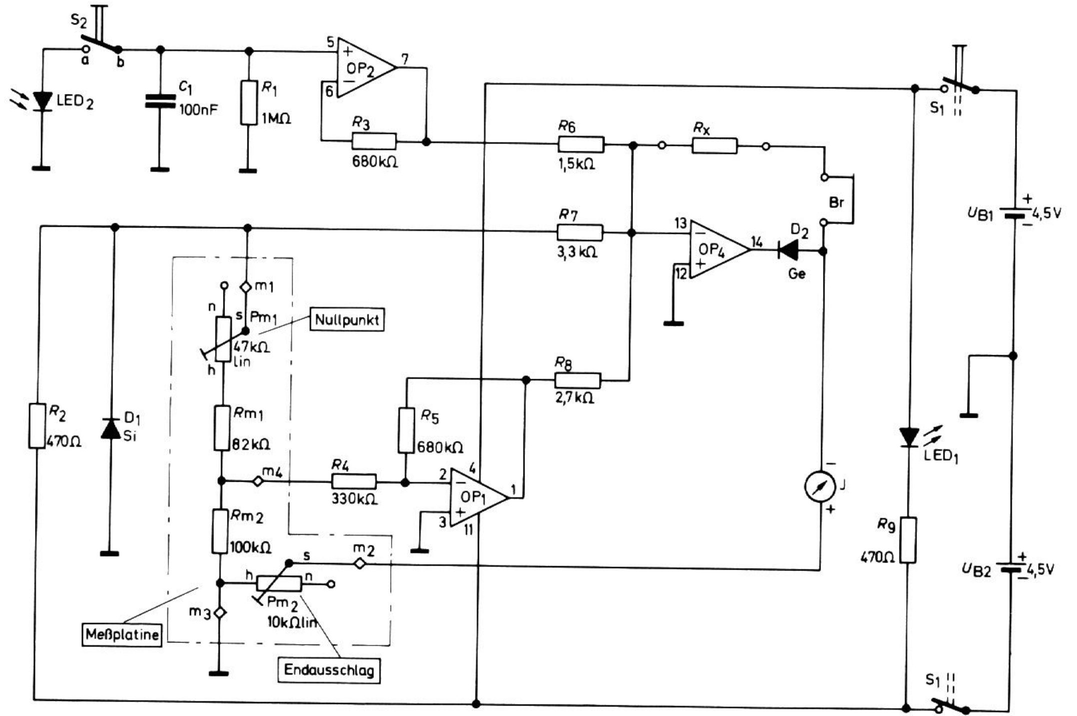


Bild 233. Helligkeitsmesser mit Direktanzeige

leuchtung (400 lx) stellen wir auf ungefähr vier Teilstriche ein. Dann können wir Beleuchtungen im unteren Helligkeitsbereich bis 1000 lx auf der Skala 0–10 ablesen. Den mittleren Helligkeitsbereich von 1000 bis 10 000 lx können wir untersuchen, wenn wir als R_x einen 8,2-kΩ-Widerstand zusammen mit der Brücke verwenden. Den oberen Helligkeitsbereich von 10 000 bis 100 000 lx – helles Sonnenlicht – untersuchen wir mit einem 680-Ω-Widerstand als R_x und dem 150-Ω-Widerstand statt der Brücke.

Der Strom erzeugt am Widerstand R_1 einen Spannungsabfall. Der Impedanzwandler mit OP_2 überträgt diese Spannung belastungsfrei über R_6 an den Eingang des invertierenden Verstärkers OP_4. Die Verstärkung und damit die Empfindlichkeit des Helligkeitsmessers wird mit R_x nach der Tabelle „Helligkeitsmesser" eingestellt. Um die auftretende „Offsetspannung" von OP_2 und OP_4 kompensieren zu können, wird das Meßgerät mit dem Potentiometer P_{m1} auf 0 eingestellt, bei geöffnetem S_2. Mit dem Potentiometer P_{m2} wird der Endausschlag des Meßgeräts bei geschlossenem S_2 eingestellt.

Nach Beendigung des Versuchs müssen P_{m1} und P_{m2} mit den Abgleichschaltungen für Gleichspannungsvoltmeter (Kapitel 10.3) und anschließend für Wechselstromvoltmeter (Kapitel 25.2) neu abgeglichen werden (diese Reihenfolge einhalten), damit das Meßgerät für Messungen von Gleichstromspannung und Wechselstromspannung wieder zur Verfügung steht.

Wer die Potentiometer auf der Meßplatine nicht verstellen will, kann statt dessen die beiden Potentiometer in der Frontplatte verwenden, die bei diesem Versuch nicht eingesetzt werden.

Tabelle 13: Helligkeitsmesser

Bereich bis ca.	R_x	und
1 000 Lux	82 kΩ	Br
10 000 Lux	8,2 kΩ	Br
100 000 Lux	680 Ω	150 Ω (statt Br)

46. Zweiklangfanfare

(Aufbaubild 234, Schaltbild 235)

Die Schaltung wird nach Bild 234 aufgebaut. Beim Einschalten von S_1 hört man zwei verschiedene Töne, deren Höhe man sowohl mit P_2 als auch mit dem Umschalter S_2 ändern kann. Die Geschwindigkeit der Tonfolge kann mit P_1 eingestellt werden.

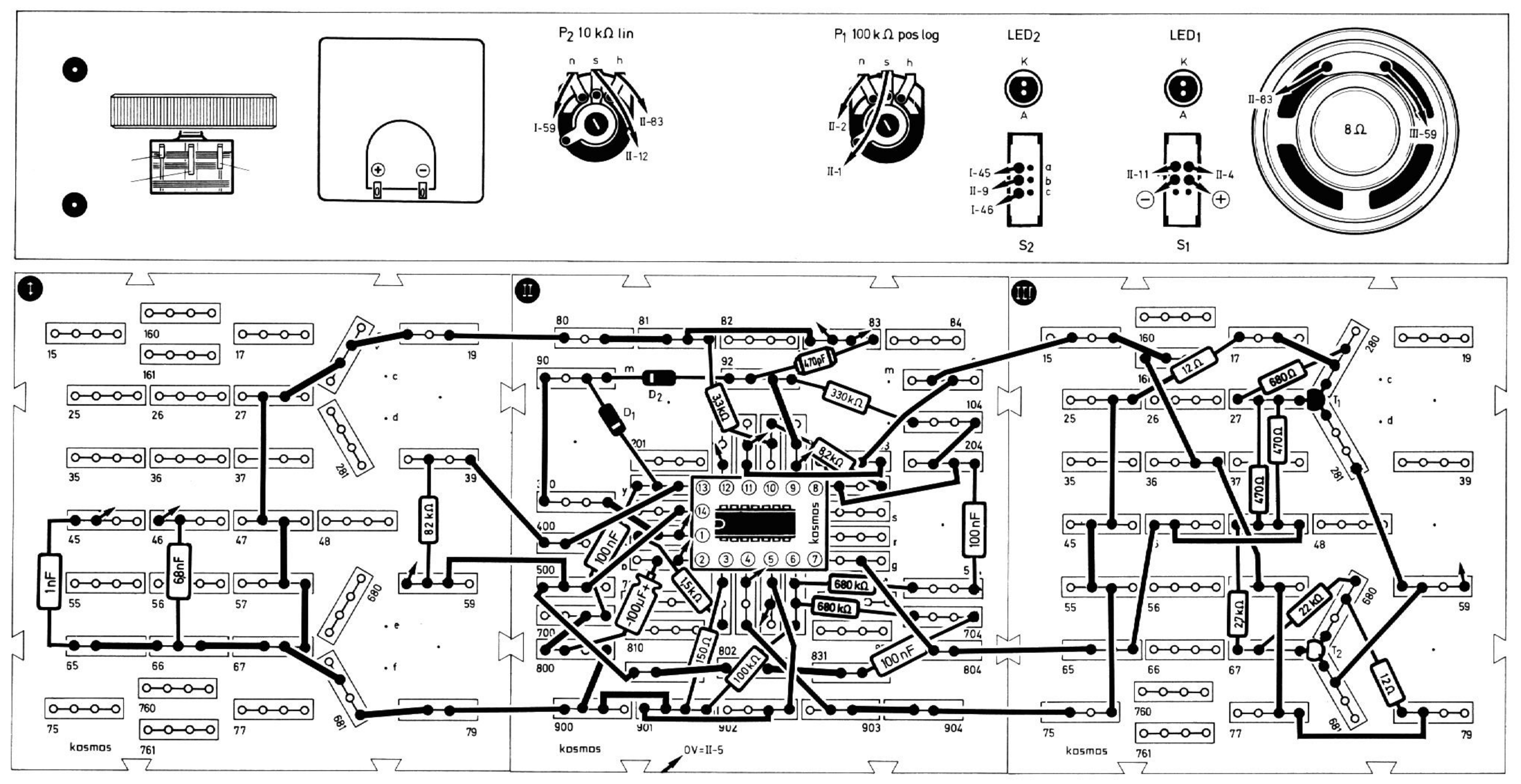


Bild 234. Aufbaubild Zweiklangfanfare

Mit diesem Gerät kann man zum Beispiel eine Warnanlage für Autos bauen.
Der Rechteckgenerator mit Operationsverstärker OP_1 schaltet wechselweise die Tongeneratoren mit OP_2 und OP_3 ein und aus. Je nachdem ob positive oder negative Sättigungsspannung an seinem Ausgang liegt, leitet D_1 oder D_2. Mit P_1 kann die Umschaltfrequenz des Rechteckgenerators verändert werden. Die Frequenz des Tongenerators mit OP_2 kann an P_2 verändert werden. Die Frequenz des Tongenerators mit OP_3 kann mit dem Schalter S_2 verändert werden.

Die Ausgänge beider Tongeneratoren gehen über Kondensatoren und Widerstände auf den invertierenden Eingang des OP_4, der als Komparator geschaltet ist. Am Ausgang des OP_4 erscheinen nun abwechselnd beide Frequenzen mit größtmöglicher Amplitude. OP_4 steuert die Gegentaktendstufe.

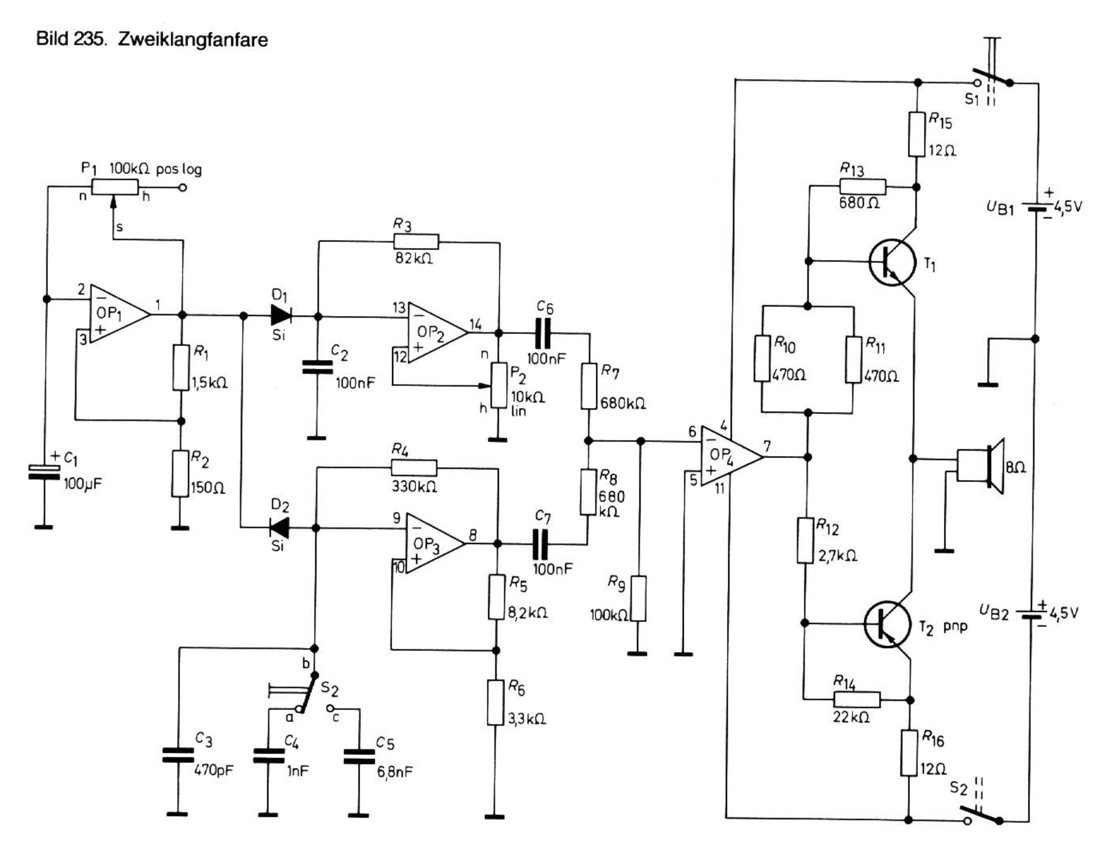


Bild 235. Zweiklangfanfare

47. Automatisches Diodenprüfgerät mit akustischen Signalen

(Aufbaubild 236, Seite 165, Schaltbild 237, Seite 166)

Diese Schaltung wird nach Bild 236 so aufgebaut, daß die Brücke Br_1 eingesteckt ist. Br_2 fehlt zunächst.

Der Ausfall der Leuchtdiode ist nur auf zwei Arten möglich. Entweder liegt eine Leitungsunterbrechung oder ein Kurzschluß vor. Zwei verschiedene Töne zeigen die Art der Störung an.

Wird Br_1 herausgezogen (Unterbrechung), ertönt ein hoher Dauerton, bis die Unterbrechung behoben ist (Br_1 wieder einstecken). Überbrückt man die LED_2 mit Br_2, so entsteht ein Kurzschluß, und ein tiefer Dauerton ist zu hören.

Die beiden Operationsverstärker OP_1 und OP_4 arbeiten als Komparatoren und nehmen in dieser Schaltung die eigentliche Überwachung der Leuchtdiode vor, indem sie je zwei Spannungen miteinander vergleichen. Der invertierende Eingang von OP_1 liegt an der Anzapfung des Spannungsteilers R_1, R_2 und sein nichtinvertierender Eingang zwischen Leuchtdiode und R_3. Solange die Leuchtdiode leuchtet, liegt am Ausgang von OP_1 negatives Signal an. Die Diode D_1 leitet, der Tongenerator mit OP_2 kann nicht schwingen. Auch der Tongenerator mit OP_3 ist gesperrt, da der Ausgang von OP_4 ebenfalls negativ ist.

Wird nun die Drahtbrücke Br_1 herausgenommen, so erlischt die Leuchtdiode. Am Minus-Eingang von OP_4 liegt nun negatives Signal über R_3. Der Ausgang von OP_4 wird positiv. Die Diode D_2 sperrt dieses Signal, und der Tongenerator mit OP_3 kann nun schwingen. Im Lautsprecher ist über den Transistor T ein Ton hörbar, solange die Drahtbrücke Br_1 nicht wieder eingesteckt wird.

Am Ausgang von OP_1 hat sich nichts geändert, denn er benötigt zum Umschalten an seinem nichtinvertierenden Eingang eine höhere positive Spannung.

Wenn wir nun die Drahtbrücke Br_2 einstecken und damit die Leuchtdiode kurzschließen, liegt am nichtinvertierenden Eingang von OP_1 positive Spannung. Der Ausgang von OP_1 wird ebenfalls positiv, und die Diode D_1 sperrt. Nun kann der Tongenerator mit OP_2 schwingen. Weil die beiden Tongeneratoren auf unterschiedlichen Frequenzen schwin-

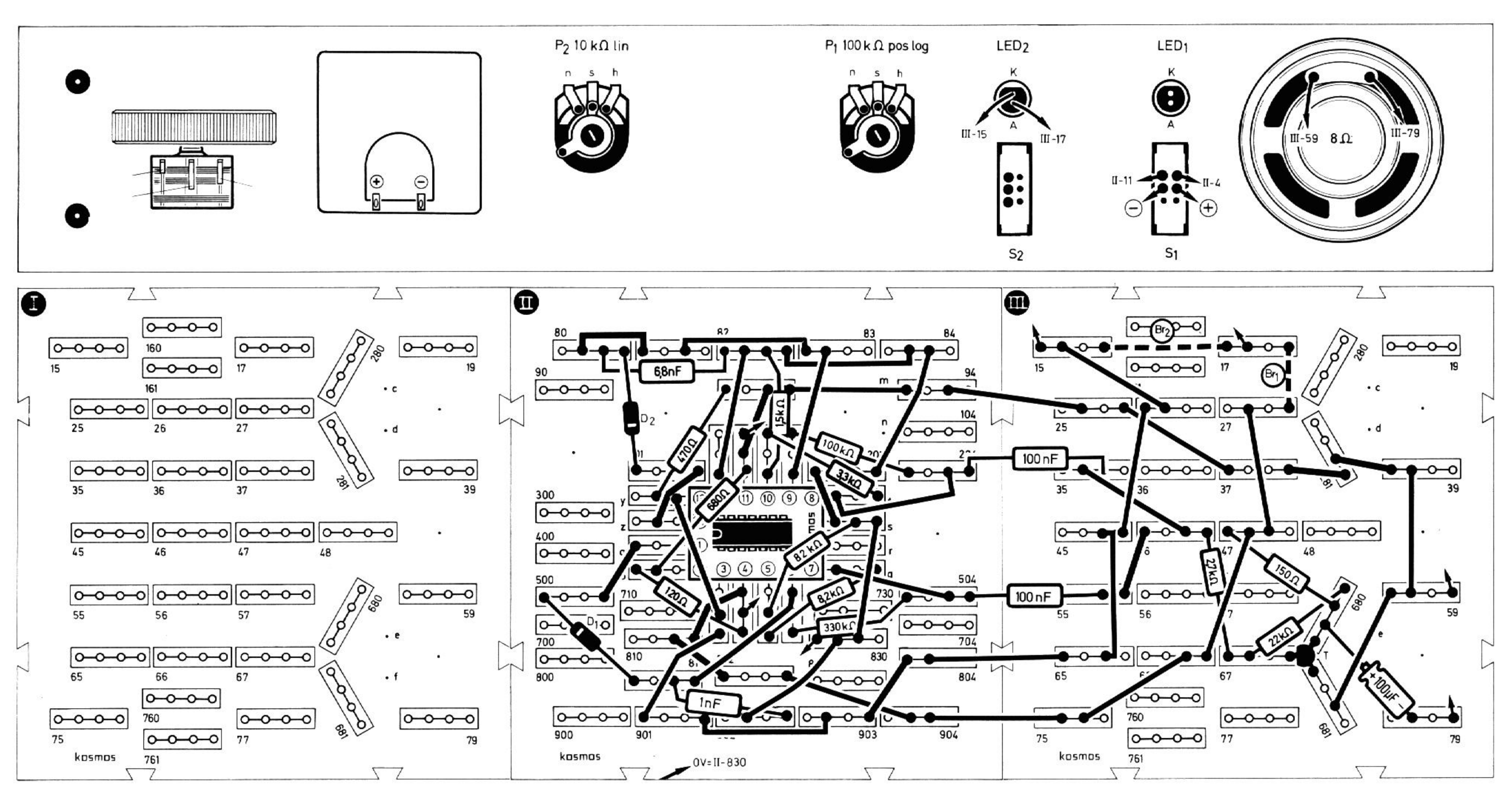
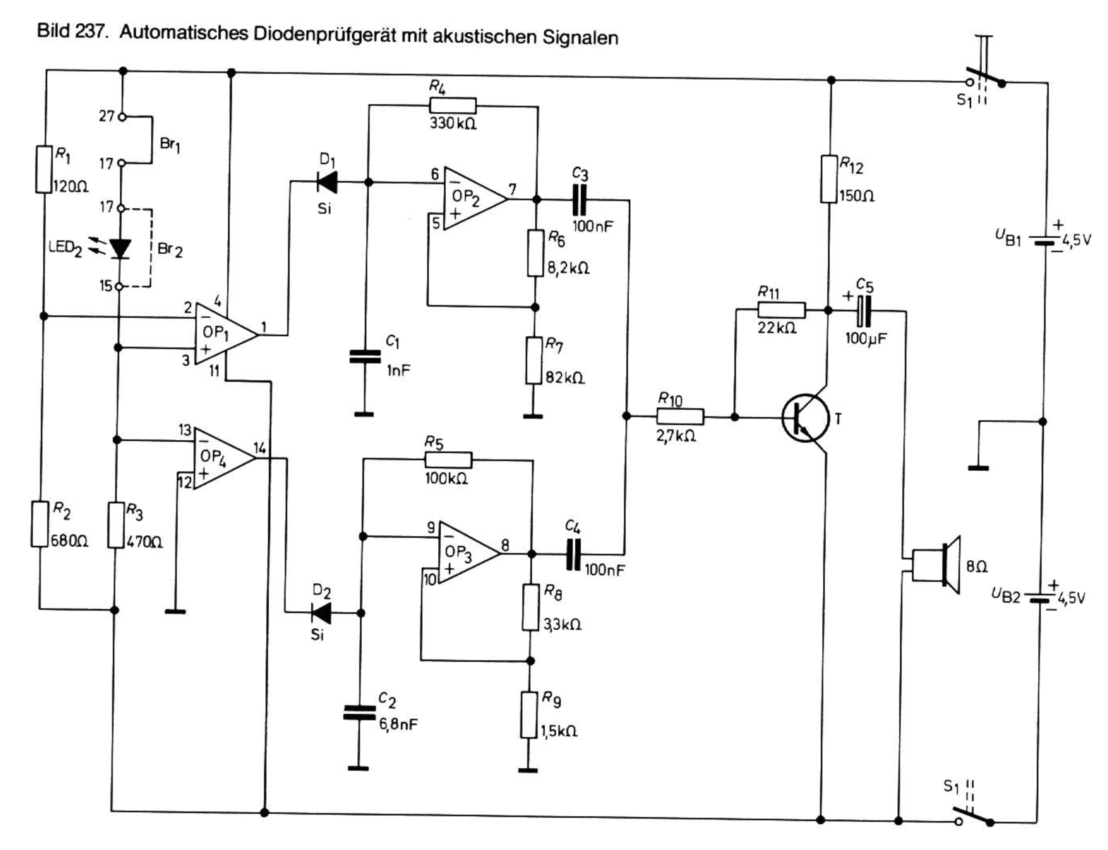


Bild 236. Aufbaubild automatisches Diodenprüfgerät mit akustischen Signalen

Bild 237. Automatisches Diodenprüfgerät mit akustischen Signalen



gen, kann man einwandfrei feststellen, ob ein Kurzschluß oder eine Leitungsunterbrechung vorliegt.

48. Dämmerungsschalter

(Aufbaubild 238, Seite 167, Schaltbild 239, Seite 168)

Der Dämmerungsschalter reagiert auf abnehmende Umgebungshelligkeit. Über das KOSMODYNE® B (III-39 und II-11) kann zum Beispiel eine Tischlampe eingeschaltet werden.

Die Empfindlichkeit wird mit dem Potentiometer P_{m2} auf der Meßplatine und dem Potentiometer P_2 in der Frontplatte eingestellt. Beim Einschalten des Schalters S_1 muß S_2 geöffnet sein und P_1 am linken Anschlag liegen. P_{m2} wird nun so weit nach links gedreht, bis die Leuchtdiode LED_1 gerade aufleuchtet. Wenn S_2 geschlossen wird, erlischt LED_1 wieder. Mit P_2 ist eine weitere Feineinstellung möglich.

Wird der vorher eingestellte Helligkeitswert unterschritten, leuchtet LED_1 oder eine Tischlampe auf. Es ist darauf zu achten, daß das eingeschaltete Licht nicht auf die LED_2 fällt, die hier als Lichtempfänger dient.

Die Eingangsschaltung mit OP_1 arbeitet nach demselben Prinzip wie beim Helligkeitsmesser. Die von OP_1 gelieferte Spannung wird von dem Verstärker OP_2 verstärkt und einem Schmitt-Trigger mit OP_3 zugeführt. Wird der mit P_2 vorbestimmte Helligkeitswert unterschritten, schaltet der Schmitt-Trigger seinen Ausgang nach Minus. Der Transistor T_{pnp} wird leitend, und die Leuchtdiode LED_1 leuchtet auf. Steigt die Helligkeit wieder an, so schaltet OP_3 seinen Ausgang nach Plus. Der Transistor sperrt und LED_1 erlischt. Mit dem Potentiometer P_{m2} auf der Meßplatine werden die Offsetspannungen von OP_1 und OP_2 kompensiert.

Das KOSMODYNE® B wird zwischen dem Kollektor des T_{pnp} und –4,5 V angeschlossen.

Die Diode D_2 hat nur dann eine Funktion, wenn statt Leuchtdiode und 120-Ω-Schutzwiderstand das Netzschaltgerät Kosmodyne B verwendet wird. Da beim Ein- und Abschalten eines Relais hohe induktive Spannungsspitzen entstehen können, sorgt D_2 dafür, daß der Transistor T_{pnp} keinen Schaden nimmt.

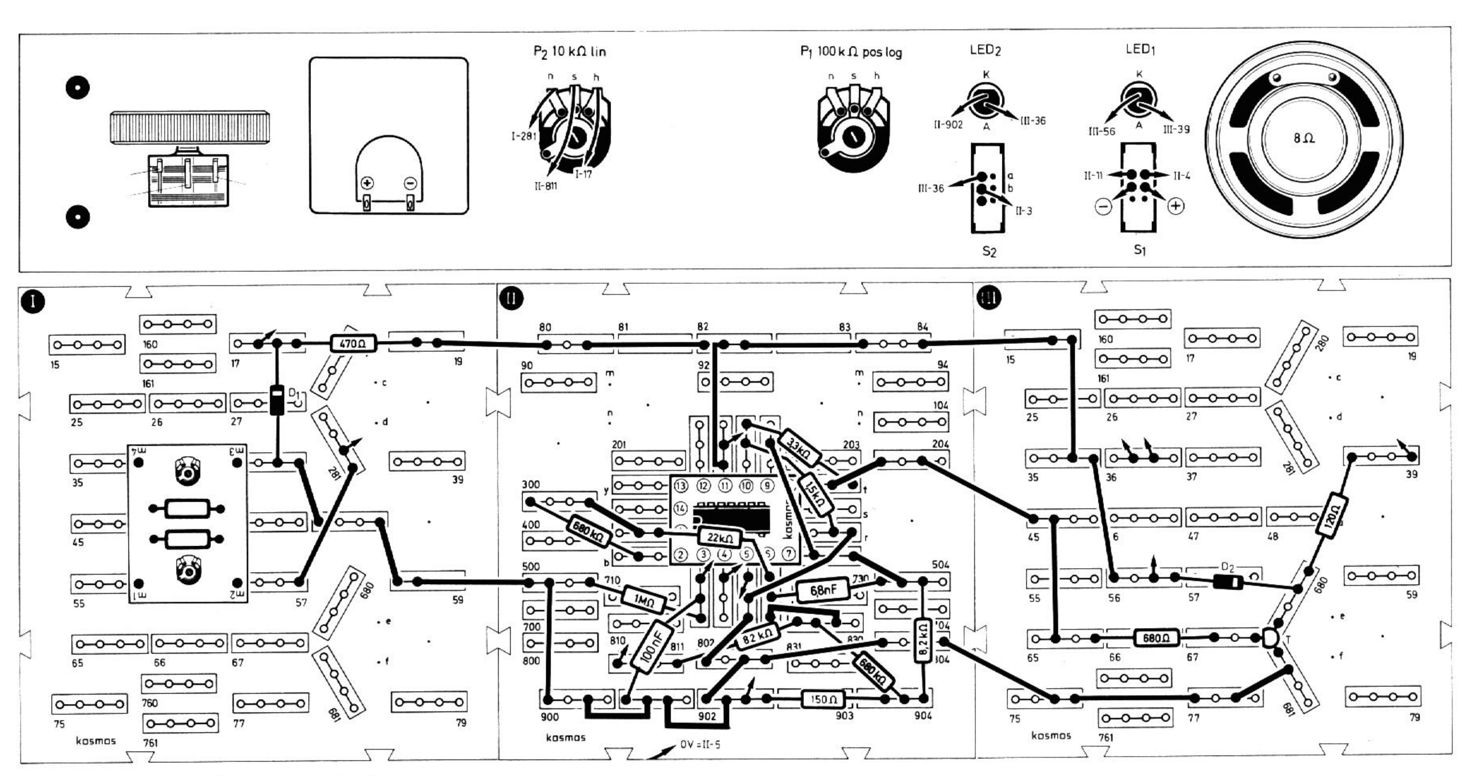
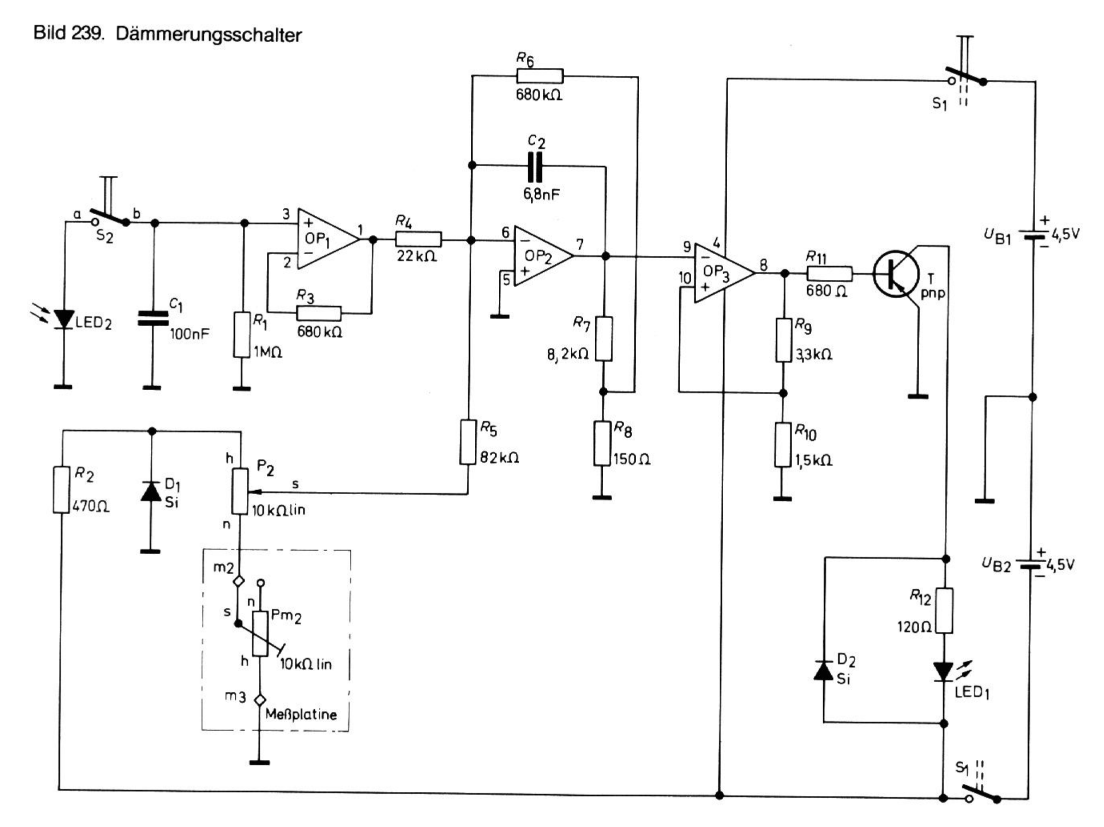


Bild 238. Aufbaubild Dämmerungsschalter

Bild 239. Dämmerungsschalter



49. Empfindliches Metallsuchgerät

(Aufbaubild 240, Seite 169, Schaltbild 241, Seite 170)

Wer schon einmal ein Wasserrohr oder eine elektrische Leitung in der Wand angebohrt hat, der weiß die Vorteile eines Metalldetektors zu schätzen. Die vorliegende Schaltung ist sehr empfindlich und kann als universeller Metalldetektor eingesetzt werden.

Beim Aufbau ist zu beachten, daß die Anschlüsse 2, 3 und 4 der Mittelwellen-Spule (siehe dazu auch Kapitel 69.1) an der Unterseite der Spule herauskommen. Um Verwechslungen zu vermeiden, werden die Anschlußenden nach den Nummern eingesteckt.

Zur Einstellung des Metalldetektors werden beide Potis zum linken Anschlag bei „0" auf der Frontplattenskala gedreht. Die Leuchtdiode LED_1 leuchtet nicht, und im Lautsprecher ist kein Ton zu hören.

Als erstes dreht man P_2 so weit auf, daß die LED_1 gerade angeht und ein Ton hörbar wird. Nun wird P_1 nach rechts gedreht, bis die LED_1 erlischt und der Ton nicht mehr zu hören ist. Wird nun ein Metallteil der Spule genähert, muß die Leuchtdiode aufleuchten und der Ton hörbar sein. Bei optimaler Einstellung genügt es, wenn man der Spule zum Beispiel einen Bleistiftanspitzer aus Metall auf 30 bis 40 mm nähert, um das Gerät ansprechen zu lassen.

Die Mittelwellen-Spule mit Ferritkern und der Transistor T_1 bilden einen Oszillator, der mit den Potentiometern P_1 und P_2 so eingestellt wird, daß er gerade noch schwingt. Die Frequenz beträgt ca. 130 kHz. Die über T_2 verstärkte Schwingung wird von der Diode D_1 gleichgerichtet. D_1 läßt nur positive Halbwellen durch, die von dem Kondensator C_4 geglättet werden und so als Gleichspannung an den invertierenden Eingang von OP_4 gelangen. OP_4 arbeitet als Komparator. Solange nun die Spannung am invertierenden Eingang von OP_4 positiver ist als die Spannung an seinem nichtinvertierenden Eingang, liegt sein Ausgang auf negativer Sättigungsspannung. Die LED_1 kann nicht leuchten. D_3 ist in Durchlaßrichtung geschaltet, so daß der Tongenerator mit OP_2 nicht schwingen kann. Wird nun ein Metallteil der Spule genähert, so reißt die Schwingung ab, und der Oszillator hört auf zu schwingen. Am invertierenden Eingang von OP_4 wird die Spannung negativer als am nichtinvertierenden Eingang. Der Ausgang ist positiv. LED_1 leuchtet auf. D_3 sperrt, und der Tongenerator mit OP_2 erzeugt nun einen im Lautsprecher hörbaren Ton.

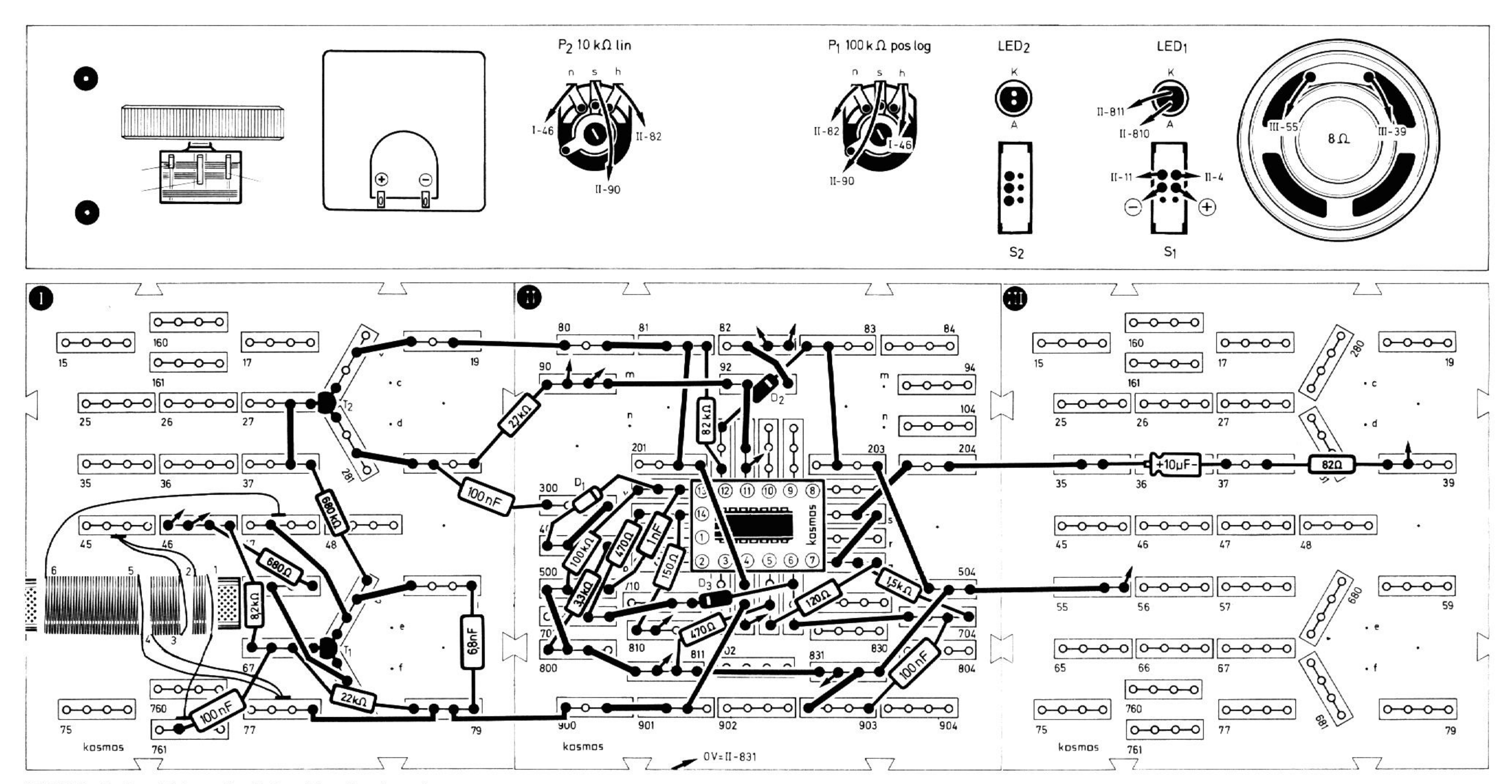


Bild 240. Aufbaubild empfindliches Metallsuchgerät

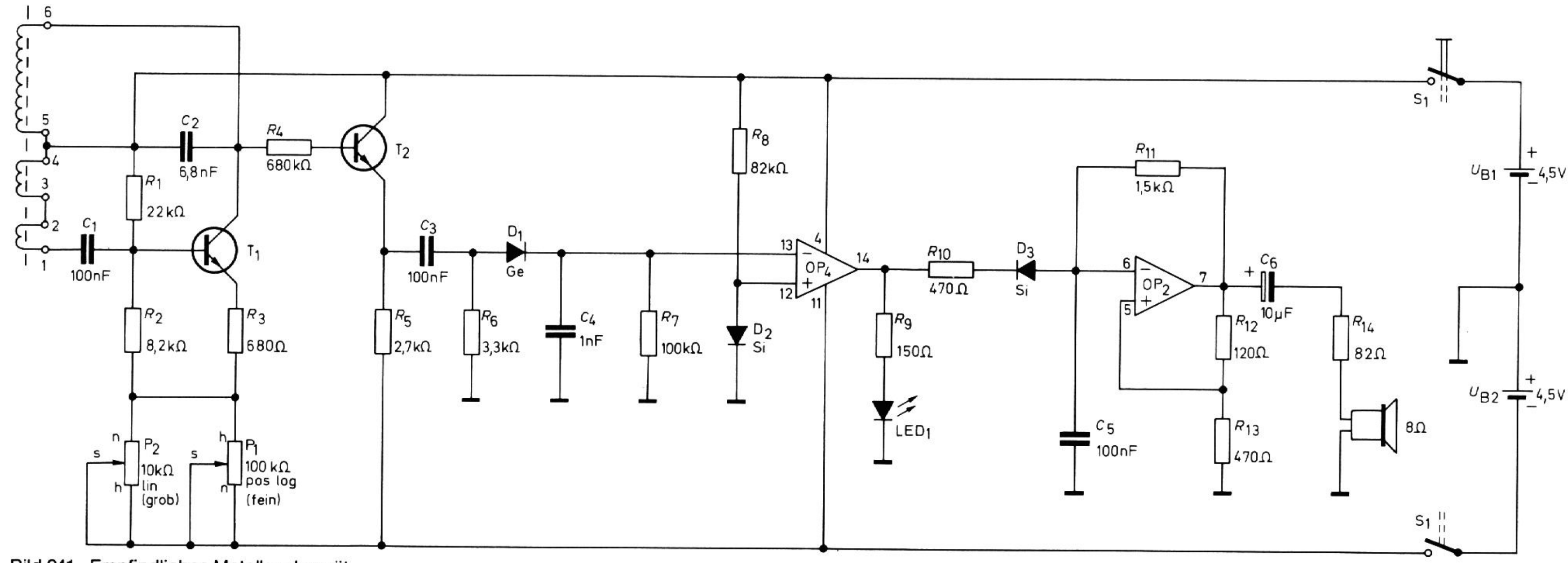


Bild 241. Empfindliches Metallsuchgerät

Man kann mit diesem Gerät zum Beispiel elektrische Leitungen, Wasserrohre usw. in der Wand aufspüren.

50. Sirenenautomatik

(Aufbaubild 242, Seite 171, Schaltbild 243, Seite 172)

Man muß nicht gleich an Katastrophen oder Notstand denken, wenn man eine automatisch auf- und abschwellende Sirene aufbaut: Für Alarmanlagen in Haus, Hof, Garten und Auto kann sie durchaus nützlich sein.

Wenn die Schaltung fertig aufgebaut ist, muß S_2 nach unten gestellt und die beiden Potis zum rechten Anschlag, also nach „8" auf der Frontplattenskala gedreht werden. Sobald der Schalter S_1 eingeschaltet wird, ertönt ein tiefer Dauerton, dessen Höhe mit dem Potentiometer P_1 verstellt werden kann. Schaltet man nun S_2 um, wird aus dem Dauerton ein auf- und abheulender Sirenenton. Mit P_2 kann man die Geschwindigkeit der Tonfolge verändern bis hin zu einem ganz schnellen Tonwechsel.

Die Leuchtdioden LED_1 und LED_2 leuchten im Rhythmus der Töne, sobald die Tonfolge schneller wird.

Beim Betrachten der Schaltung gehen wir davon aus, daß S_2 geschlossen ist. OP_1 arbeitet als Integrierer. Der Kondensator C_1 lädt sich zeitlinear auf die Ausgangsspannung des als nichtinvertierender Schmitt-Trigger geschalteten OP_3 auf. Da der Eingang des OP_3 am Ausgang des Integrierers OP_1 liegt, wechselt bei einer bestimmten Eingangsspannung der Schmitt-Trigger sein Ausgangssignal. Der Kondensator C_1 lädt sich nun in entgegengesetzter Richtung auf, bis der Schmitt-Trigger wieder umschaltet. Mit dem Potentiometer P_2 kann die Umschaltfrequenz eingestellt werden. Am Ausgang des Integrierers ergibt sich eine Dreieckspannung, die über die Diode D_1 an den Fußpunkt eines Tongenerators mit OP_2 angeschlossen ist. Die Grundfrequenz des Tongenerators wird mit P_1 eingestellt, und ähnlich wie beim elektronischen Vogelgezwitscher (Kapitel 36) steuert nun die Dreieckspannung die Änderung der Frequenz von OP_2. Wird wäh-

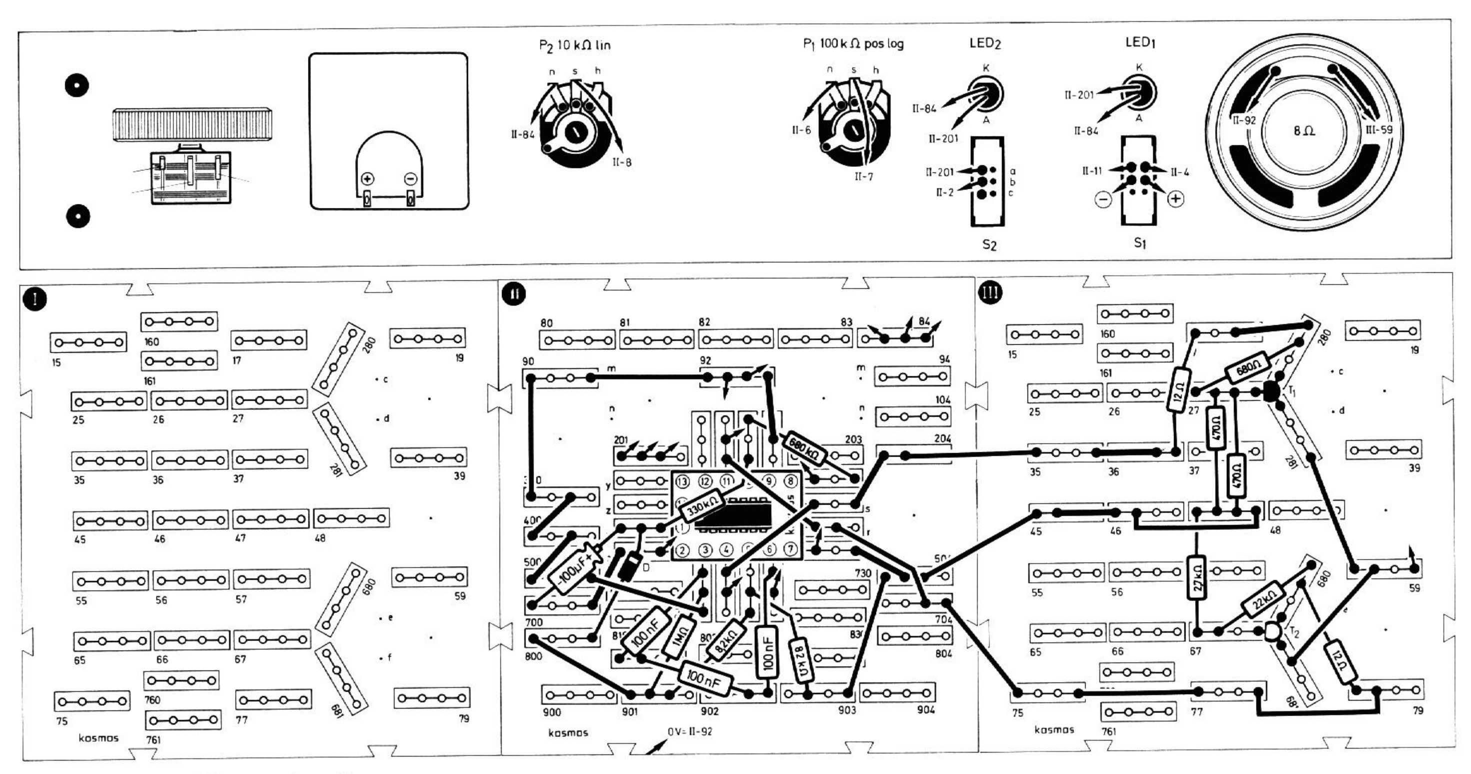
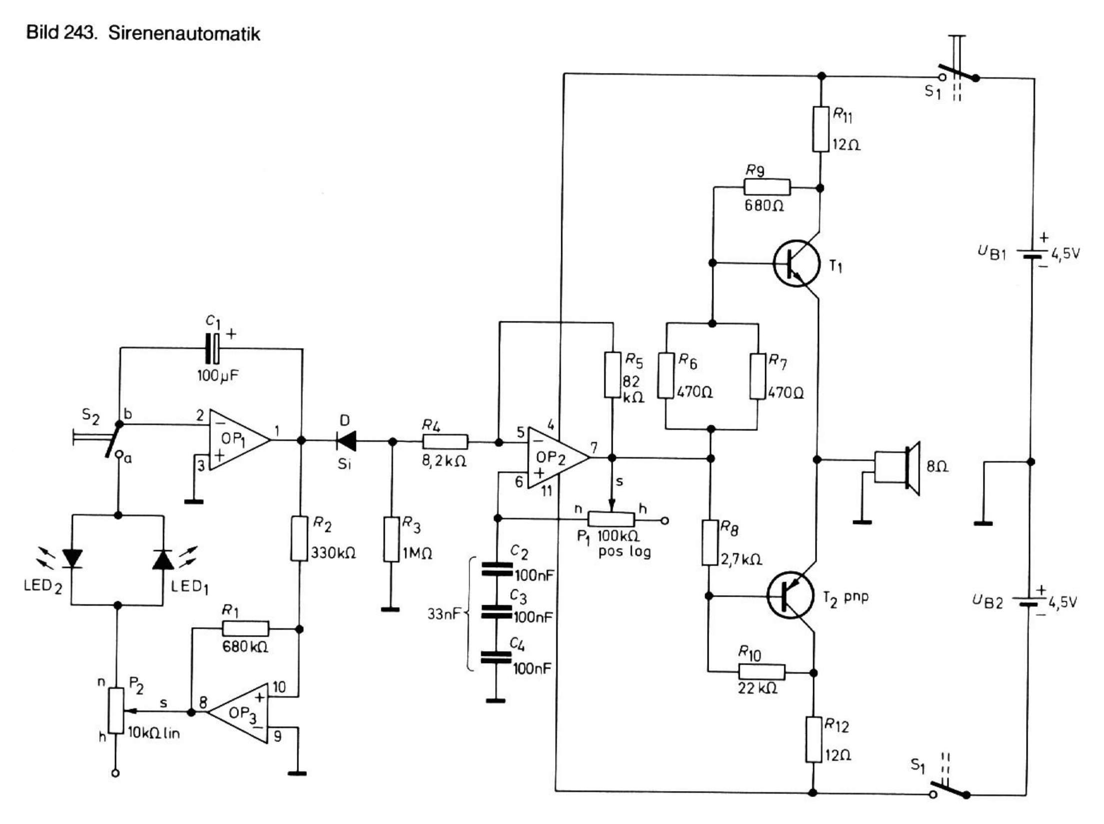


Bild 242. Aufbaubild Sirenenautomatik

Bild 243. Sirenenautomatik



rend des Betriebs der Schalter S_2 geöffnet, so schwingt der Tongenerator mit einer konstanten Frequenz weiter, da sich der Kondensator C_1 nicht weiter aufladen kann. Mit den Leuchtdioden LED_1 und LED_2 kann der Umschaltvorgang des Schmitt-Triggers und damit der Signalwechsel am Eingang des Integrators beobachtet werden.

Die Transistoren T_1 und $T_{2\,pnp}$ bilden wieder die Gegentaktendstufe.

Die drei in Serie geschalteten Kondensatoren von 100 nF bilden gemäß Formel 9 eine Gesamtkapazität von 100 nF : 3 = 33 nF.

51. Sensorschalter

(Aufbaubild 244, Seite 173, Schaltbild 245, Seite 174)

Bei dieser Schaltung kann man durch Berühren der Berührungstasten BT_1 bzw. BT_2 die Leuchtdiode LED_2 ein- bzw. ausschalten.

Nach dem Aufbau des Sensorschalters und dem Einschalten von S_1 leuchtet die LED_2. Berührt man nun die Berührungstaste BT_2 und zugleich die Frontplatte, so erlischt LED_2. Berührt man BT_1 zusammen mit der Frontplatte, leuchtet LED_2 wieder auf.

Ähnlich wie dieser Sensorschalter arbeiten Sensortasten zum Beispiel an Radios und Aufzügen.

Der Operationsverstärker OP_4 arbeitet als invertierender Verstärker. Der Rückkopplungswiderstand R_2 liegt jedoch nicht, wie sonst üblich, direkt am Ausgang von OP_4, sondern an der Anzapfung des Spannungsteilers R_3, R_4. Das Teiler-Verhältnis beträgt etwa 10 : 1, d. h. an diesem Punkt liegt nur der zehnte Teil der Ausgangsspannung an. Das hat zur Folge, daß der Rückkopplungswiderstand scheinbar erhöht wird. Selbst bei einem hohen Eingangswiderstand, wie er durch das Berühren mit dem Finger entsteht, wird auf diese Weise noch eine hohe Verstärkung erzielt.

Gelangt über den Fingerwiderstand durch Berühren von BT_1 positive Spannung an den invertierenden Eingang, so erscheint am Ausgang von OP_4 – bedingt durch die hohe Verstärkung – ein großes negatives Signal.

Der nachgeschaltete invertierende Schmitt-Trigger OP_3 schaltet seinen Ausgang nach Plus. Der Transistor T wird leitend, und die LED_2 leuchtet auf.

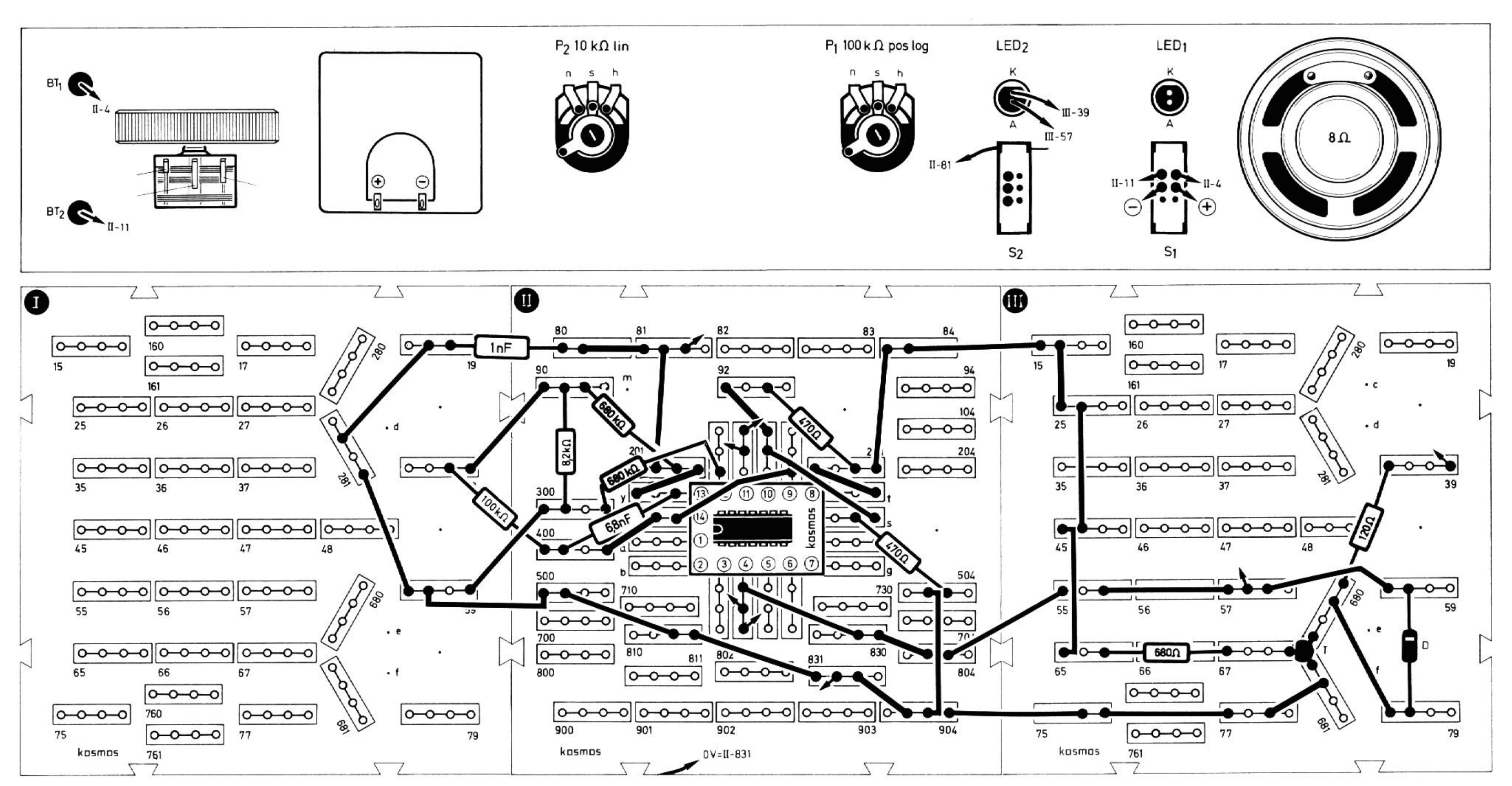
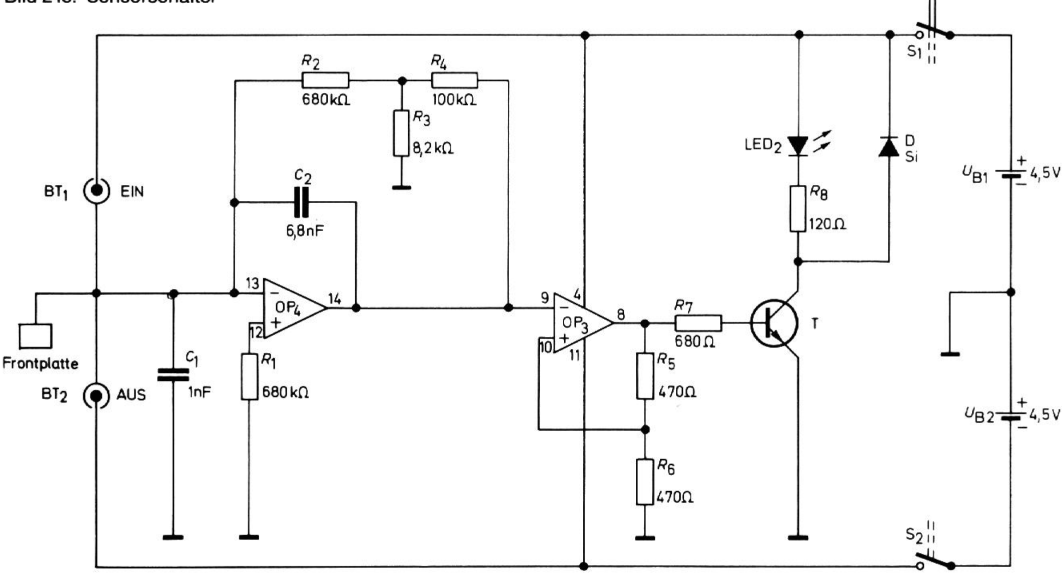


Bild 244. Aufbaubild Sensorschalter

Bild 245. Sensorschalter



Wenn wir nun den Finger von BT_1 nehmen, liegt am Ausgang von OP_4 etwa 0 V an. Da OP_3 jedoch – bedingt durch den Spannungsteiler R_5, R_6 – erst bei einer größeren positiven Spannung wieder zurückkippt, bleibt T leitend, und LED_2 leuchtet weiter.

Erst wenn BT_2 berührt wird und damit negatives Potential an den invertierenden Eingang von OP_4 gelangt, wird dessen Ausgang und damit der Eingang von OP_3 positiv. Der Schmitt-Trigger OP_3 kippt zurück, d. h. sein Ausgang wird negativ. Wenn T sperrt, erlischt LED_2.

Zwischen Kollektor von T und Plus der Batterie-Spannung kann ein KOSMODYNE® B angeschlossen werden, über das sich zum Beispiel eine Tischlampe schalten läßt.

52. Dreistufiges Schieberegister

(Aufbaubild 246, Seite 175, Schaltbild 247, Seite 176)

Schieberegister sind Funktionsgruppen der Digital-Technik. Sie bestehen im allgemeinen aus einer Reihe von Flip-Flops, die so miteinander verbunden sind, daß bei Anliegen eines äußeren Fortschalte-Impulses ein Flip-Flop die Information des vor ihm in der Reihe liegenden Flip-Flops übernimmt. Damit kann man zum Beispiel eine Lauflichtreklame steuern.

Unser Schieberegister besteht aus drei Flip-Flops. Die Informationen werden durch die beiden Leuchtdioden bzw. das Meßinstrument angezeigt. Durch Drücken des Tasters Ta_1 versuchen wir, Informationen in das Schieberegister einzubringen, was jedoch nur gelingt, wenn der Arbeitspunkt der Flip-Flops mit dem Potentiometer P_2 richtig eingestellt ist: P_2 ungefähr bis „4" der Frontplattenskala aufdrehen und Ta_1 drücken. Jetzt muß LED_1 aufleuchten und anbleiben. Erlischt sie wieder, muß P_2 noch etwas weiter nach h gedreht werden. Leuchten jedoch beide Leuchtdioden auf, muß P_2 etwas zurückgedreht werden.

Ist der richtige Arbeitspunkt gefunden, leuchtet beim ersten Drücken von Ta_1 LED_1, beim zweiten Drücken LED_2 auf, und beim dritten Drücken schlägt das Meßinstrument aus. Mit Ta_2 kann das Register wieder gelöscht werden.

Die Flip-Flops unseres Registers sind die Operationsverstärker OP_1, OP_2 und OP_4. Bei jedem Schiebeimpuls mit Ta_1 wird ein Flip-Flop aktiviert, wodurch der Eindruck entsteht, als würden Informationen in das Register geschoben.

Zur Funktion des Schieberegisters werden (außer den LEDs) insgesamt sechs Dioden benötigt. Da unsere Experimentierausrüstung nur zwei Silizium- und eine Germanium-Diode enthält, kann man sich hier durch den Einsatz der Basis-Emitter-Dioden der Transistoren helfen. Die Kollektoren der Transistoren werden nicht angeschlossen. Man erhält auf diese Weise drei zusätzliche Silizium-Dioden, die hier die einzelnen Flip-Flops entkoppeln.

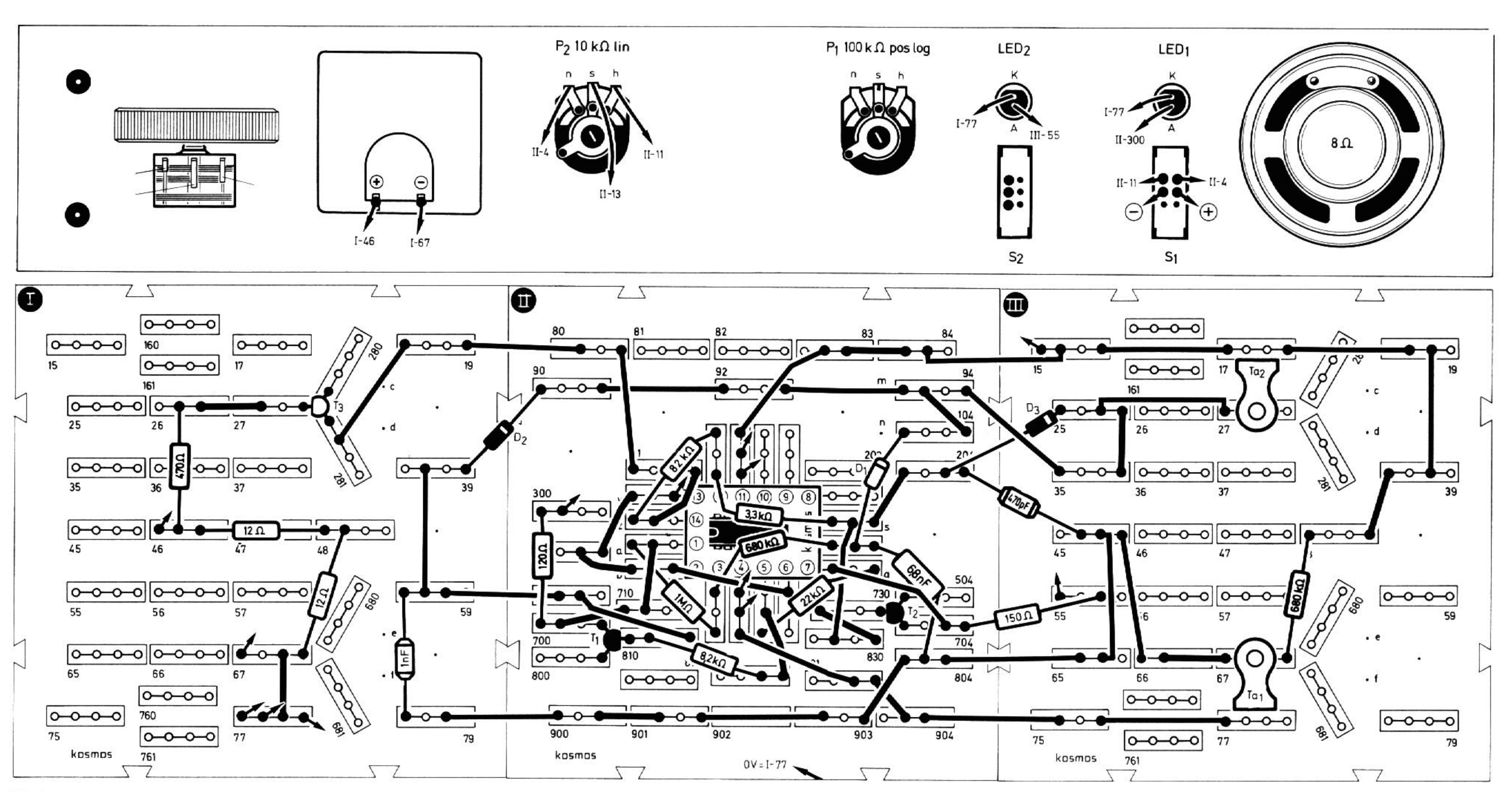
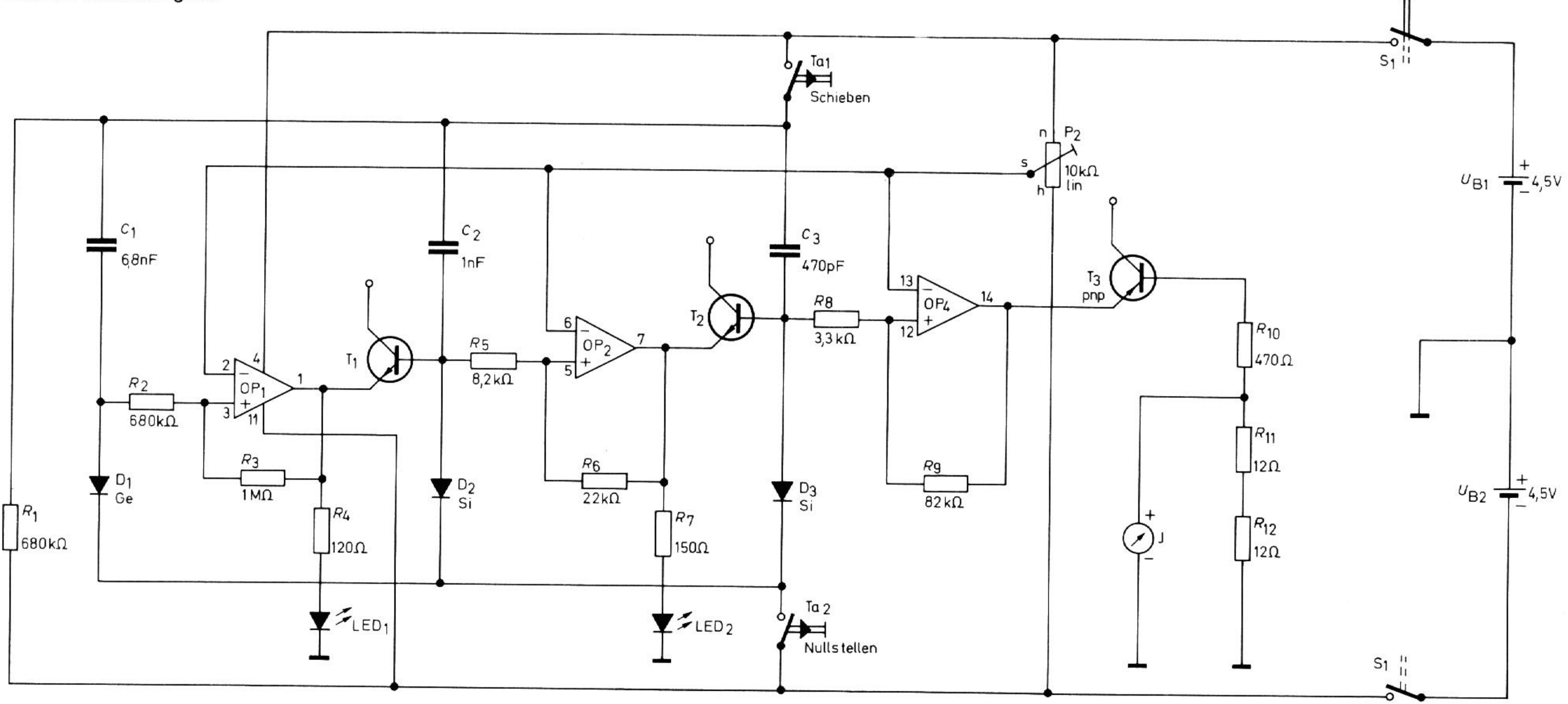


Bild 246. Aufbaubild dreistufiges Schieberegister

Bild 247. Schieberegister



53. Dampflok-Geräusche

(Aufbaubild 248, Seite 177, Schaltbild 249, Seite 178)

Für Modellbahnfreunde, die nicht nur Wert auf naturgetreue Bahnen, Gleiskörper und Landschaften legen, sondern auch Geräusche in das Spiel mit einbeziehen wollen, ist die Imitation eines Dampflokgeräusches eine willkommene Bereicherung.

Beim Einschalten sollen die beiden Potis P_1 und P_2 am linken Anschlag bei „0“ auf der Frontplattenskala stehen.

Das typische Geräusch einer anfahrenden Dampflok entsteht, wenn zuerst P_1 langsam nach rechts gedreht wird, bis der Grundton in langsamer Folge zu hören ist. Mit P_2 kann die Geschwindigkeit der Tonfolge verstellt werden. Man kann den Eindruck erwecken, als fahre eine Lok mit immer größerer Geschwindigkeit.

Das Geräusch einer Dampfmaschine läßt sich elektronisch am besten durch einen Rauschgenerator nachbilden. Schaltet man dieses Rauschen rhythmisch ein und aus, so entsteht der Eindruck einer fahrenden Dampflokomotive. Wir erzeugen das Rauschen mit der Germanium-Diode D_1. Sie wird in dieser Schaltung in Sperr-Richtung betrieben. Dem gleichmäßigen Sperrstrom, der sie durchfließt, ist ein Rauschen übergelagert, das sich aus allen möglichen Frequenzen zusammensetzt. Das Rau-

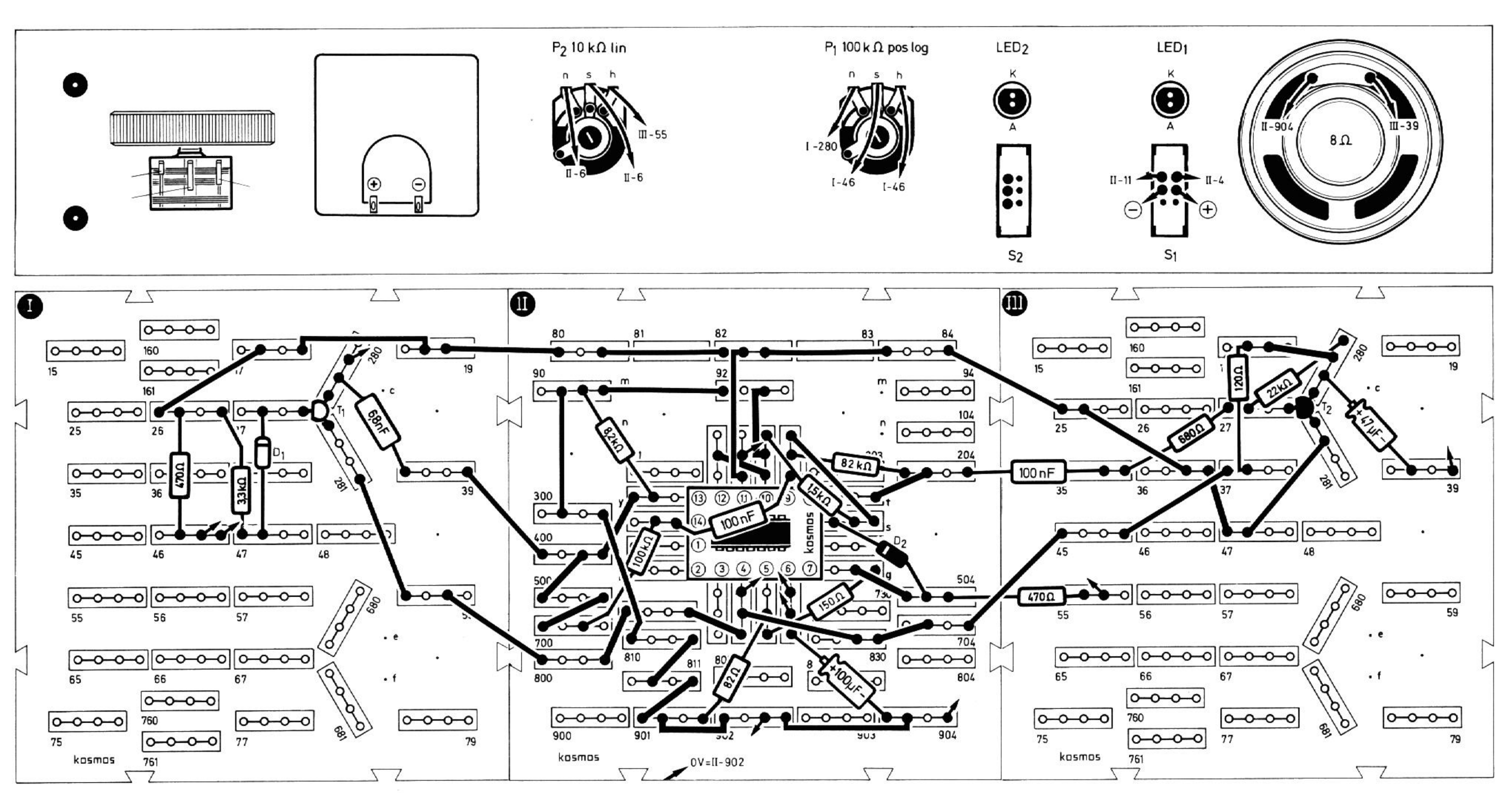
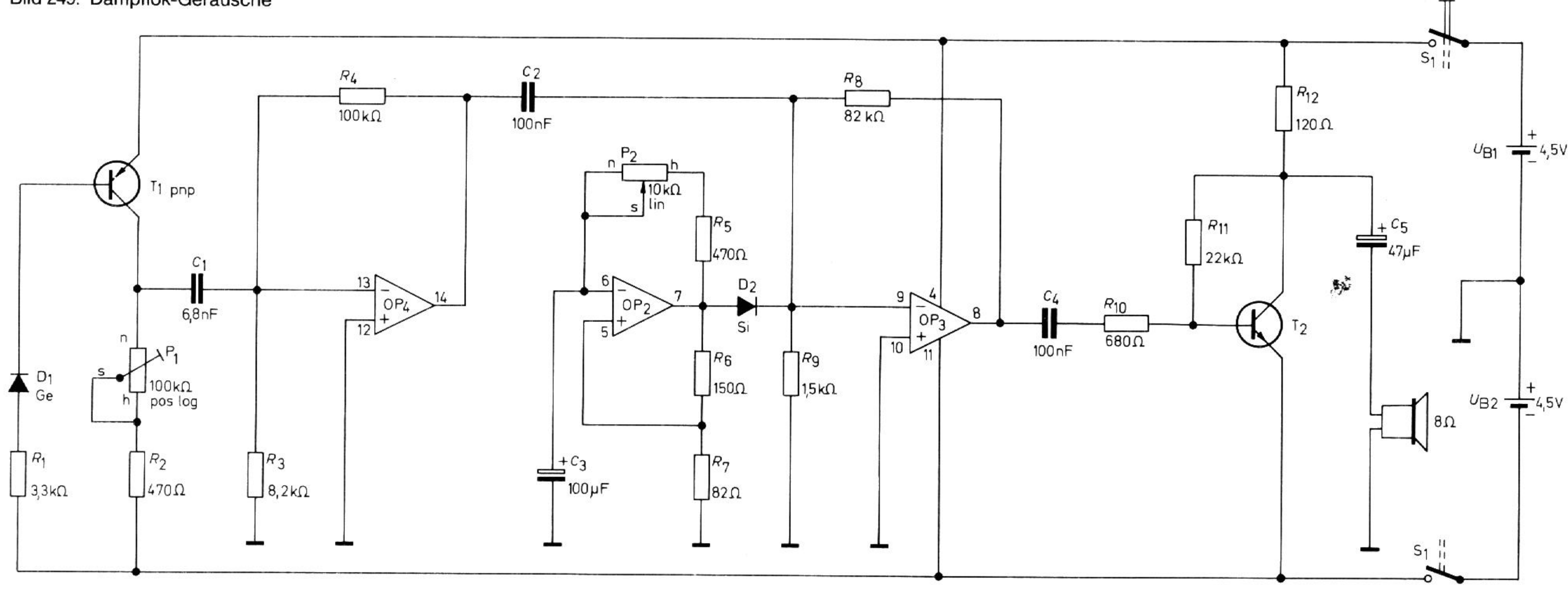


Bild 248. Aufbaubild Dampflok-Geräusche

Bild 249. Dampflok-Geräusche



schen entsteht dadurch, daß es einigen Ladungsträgern gelingt, die Sperrschicht zu überwinden. Dies geschieht völlig unkontrolliert und erklärt das Auftreten der verschiedensten Frequenzen. Der Transistor $T_{1\,pnp}$ verstärkt dieses Rauschen weiter. Sein Arbeitspunkt ist mit dem Potentiometer P_1 einstellbar. Durch den Operationsverstärker OP_4 wird das Rauschen noch weiter verstärkt und gelangt über den Kondensator C_1 an den Minus-Ausgang von OP_3. Der Operationsverstärker OP_2 bildet unseren Taktgenerator, der mit P_2 verstellbar ist. Liegt am Ausgang von OP_2 negatives Signal, so ist die Diode D_2 gesperrt; das Rauschen kann von dem Operationsverstärker OP_3 weiter verstärkt und dem Endtransistor T_2 zugeführt werden. Schaltet nun der Ausgang von OP_2 nach Plus um, so leitet die Diode, und am invertierenden Eingang von OP_3 liegt positive Spannung.
Das über C_2 ankommende Rauschsignal wird wirkungslos. Schaltet nun der Taktgenerator seinen Ausgang nach Minus, so sperrt die Diode D_2 wieder, und das Rauschen ist wieder hörbar. Mit dem Potentiometer P_1 kann die Klangfarbe des Rauschens eingestellt werden.

54. Feuchtigkeitsprüfer mit optisch-akustischem Indikator

(Aufbaubild 250, Seite 179, Schaltbild 251, Seite 180)

Wo unerwünschte Feuchtigkeit im Haus, im Keller, in Booten usw. Schaden anrichten kann, ist es von Vorteil, wenn ein elektronisches Warngerät rechtzeitig Signal gibt, ehe ein größerer Schaden eintritt. Mütter werden es vielleicht dankbar begrüßen, wenn ihnen eine elektronische Anlage sofort anzeigt, ob die Windeln des Babys naß sind oder nicht.

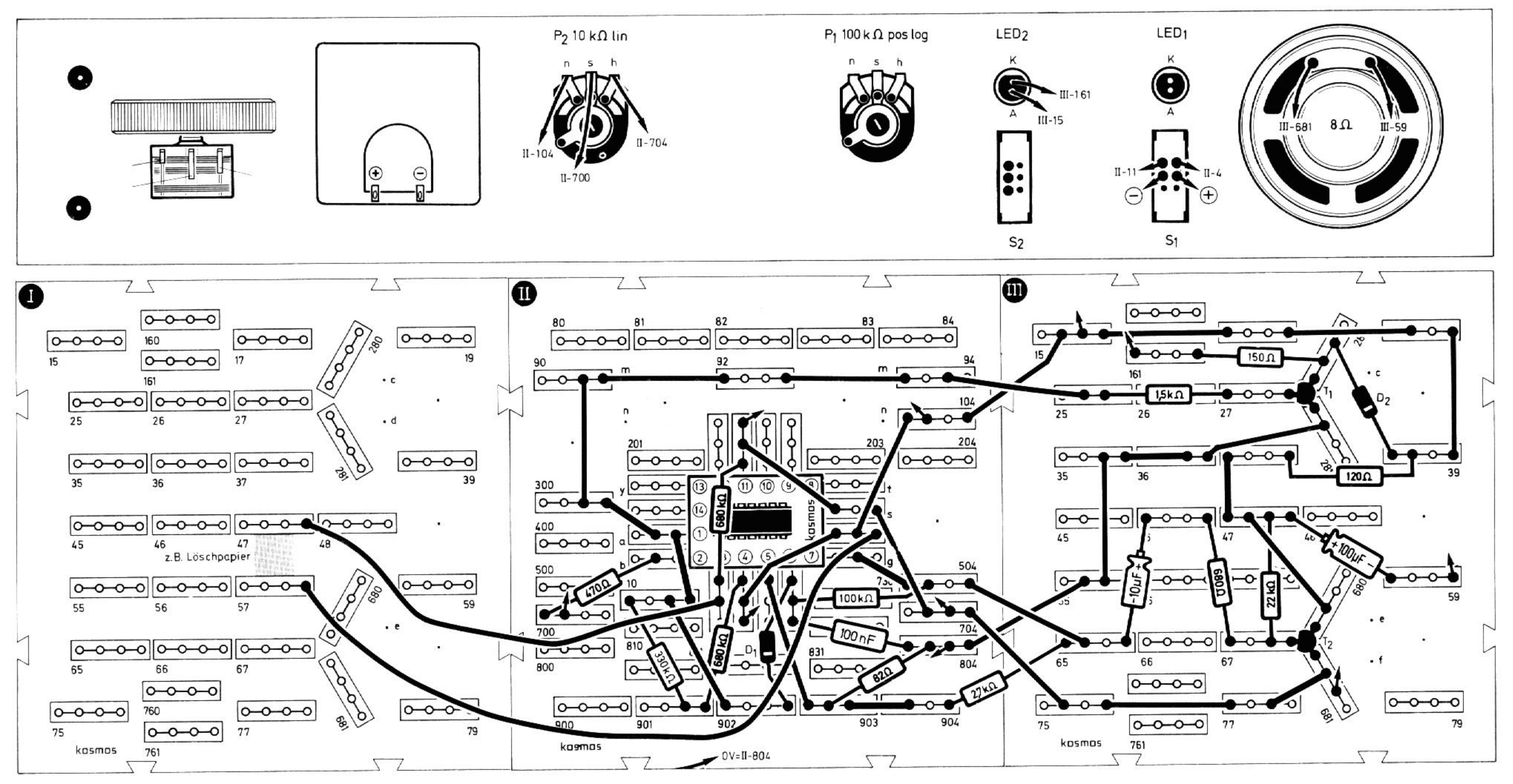


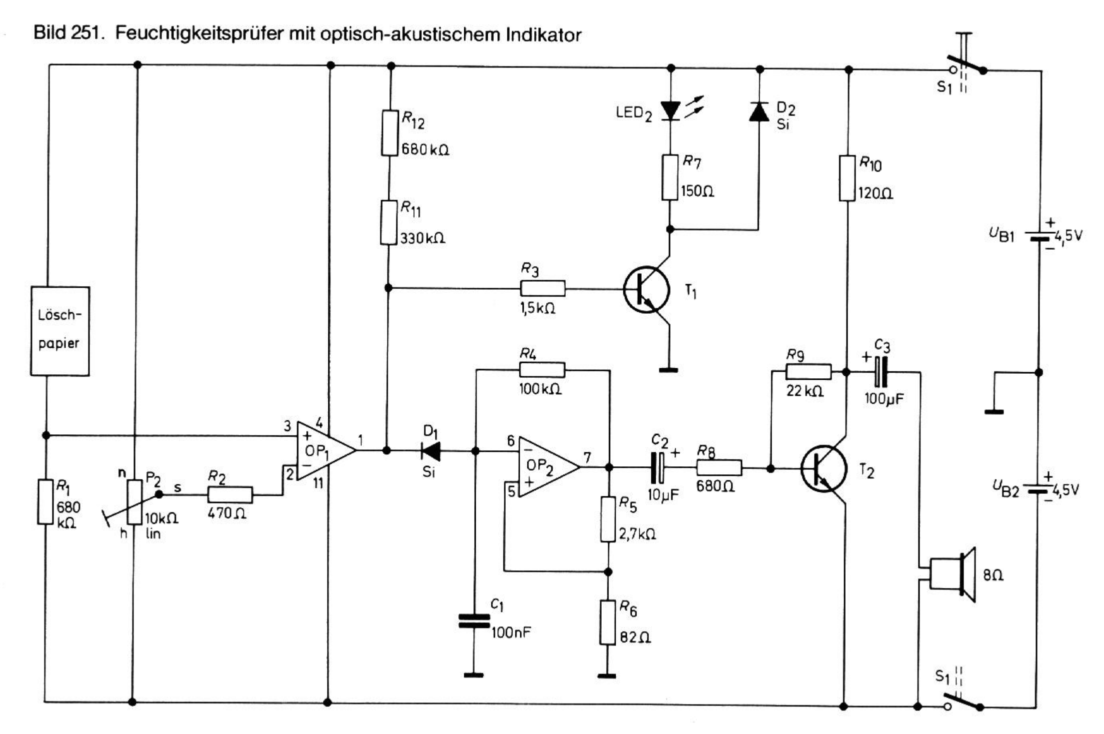
Bild 250. Aufbaubild Feuchtigkeitsprüfer mit optisch-akustischem Indikator

Als Sensor wird ein Streifen Löschpapier zwischen den Steckfedern 47 und 57 auf die Aufbauplatte I gelegt. Soll das Gerät an einem beliebigen Ort die Feuchtigkeit überprüfen, werden an den langen Drähten, die jetzt bei St 47 und St 57 eingesteckt werden, zwei Zinkblechstreifen als Elektroden befestigt.

Mit dem Poti läßt sich die erforderliche Empfindlichkeit der Schaltung einstellen.

Der Operationsverstärker OP_1 arbeitet als Komparator. Der Feuchtigkeitssensor bildet zusammen mit R_1 einen Spannungsteiler, dessen Anzapfung mit dem nichtinvertierenden Eingang von OP_1 verbunden ist. Bevor man das Löschpapier anfeuchtet, wird P_2 so eingestellt, daß der Tongenerator OP_2

Bild 251. Feuchtigkeitsprüfer mit optisch-akustischem Indikator



abgeschaltet ist, das heißt der Ausgang von OP_1 führt negatives Potential. Dadurch wird die Diode D_1 leitend.

Der Tongenerator mit OP_2 hat nun an seinem invertierenden Eingang ständig eine negative Spannung und kann nicht schwingen. Gleichzeitig ist T_1 gesperrt, und LED_2 kann nicht leuchten. Wird nun das Löschpapier befeuchtet, schaltet der Ausgang von OP_1 nach Plus um, D_1 sperrt, und der Tongenerator mit OP_2 schwingt. Mit T_2 werden diese Schwingungen verstärkt und im Lautsprecher hörbar gemacht. T_1 leitet, und LED_2 leuchtet auf.

Zwischen Kollektor von T_1 und Plus der Batterie-Spannung kann das KOSMODYNE® B angeschlossen werden.

55. Stereo-Sprachausblender

(Aufbaubild 252, Seite 181, Schaltbild 253, Seite 182)

Mit dieser Schaltung kann man aus bestimmten Stereoplatten die Stimme des Interpreten ausblenden. Es eignen sich dazu nicht alle Stereoplatten. Die Musik bleibt jedoch erhalten. Die Schaltung ermöglicht es dem Tonbandamateur, Schallplattenmusik zu bekommen, die er später mit seiner eigenen oder einer anderen Stimme versehen kann.

Über die NF-Buchse 1 im Seitenteil A wird ein Plattenspieler angeschlossen, der die Musik liefert, und an die NF-Buchse 2 im Seitenteil B wird ein Tonbandgerät oder ein Kassettenrecorder angeschlossen, der die gefilterte Musik wieder aufnimmt.

Mit dem Schalter S_2 kann man den Ausblendeffekt ein- oder ausschalten.

S_2 oben = ohne Interpret,
S_2 unten = mit Interpret.

Mit dem Potentiometer P_2 wird der bestmögliche Arbeitspunkt eingestellt. P_1 dient als Ausgangsregler, der die Anpassung an die verschiedensten Tonbandgeräte und Kassettenrecorder ermöglicht.

Das Potentiometer P_{m1} auf der Meßplatine muß rechts herum zum Anschlag gedreht werden. P_{m2} hat keine Funktion.

Bei den meisten Stereoaufnahmen erscheint der Interpret im linken und im rechten Kanal etwa gleich stark. Musikinstrumente, Orchester und Chor sind jedoch unterschiedlich auf beide Kanäle verteilt. Wenn man nun den einen Kanal in seiner Phase um 180° dreht und mit dem anderen Kanal mischt, so heben sich alle gleichen, nur in ihrer Phase um 180° gedrehten Signale auf. Und genau dies geschieht mit dem Interpreten, da er, wie schon erwähnt, in beiden Kanälen etwa gleich stark auftritt. In unserer Schaltung übernimmt der Operationsverstärker OP_3 die Phasendrehung. Am Eingang liegen die beiden Operationsverstärker OP_4 und OP_1. Sie arbeiten als Impedanzwandler. Mit dem Schalter S_2 wird der Effekt ein- oder ausgeschaltet. Ist der Effekt eingeschaltet, S_2 also

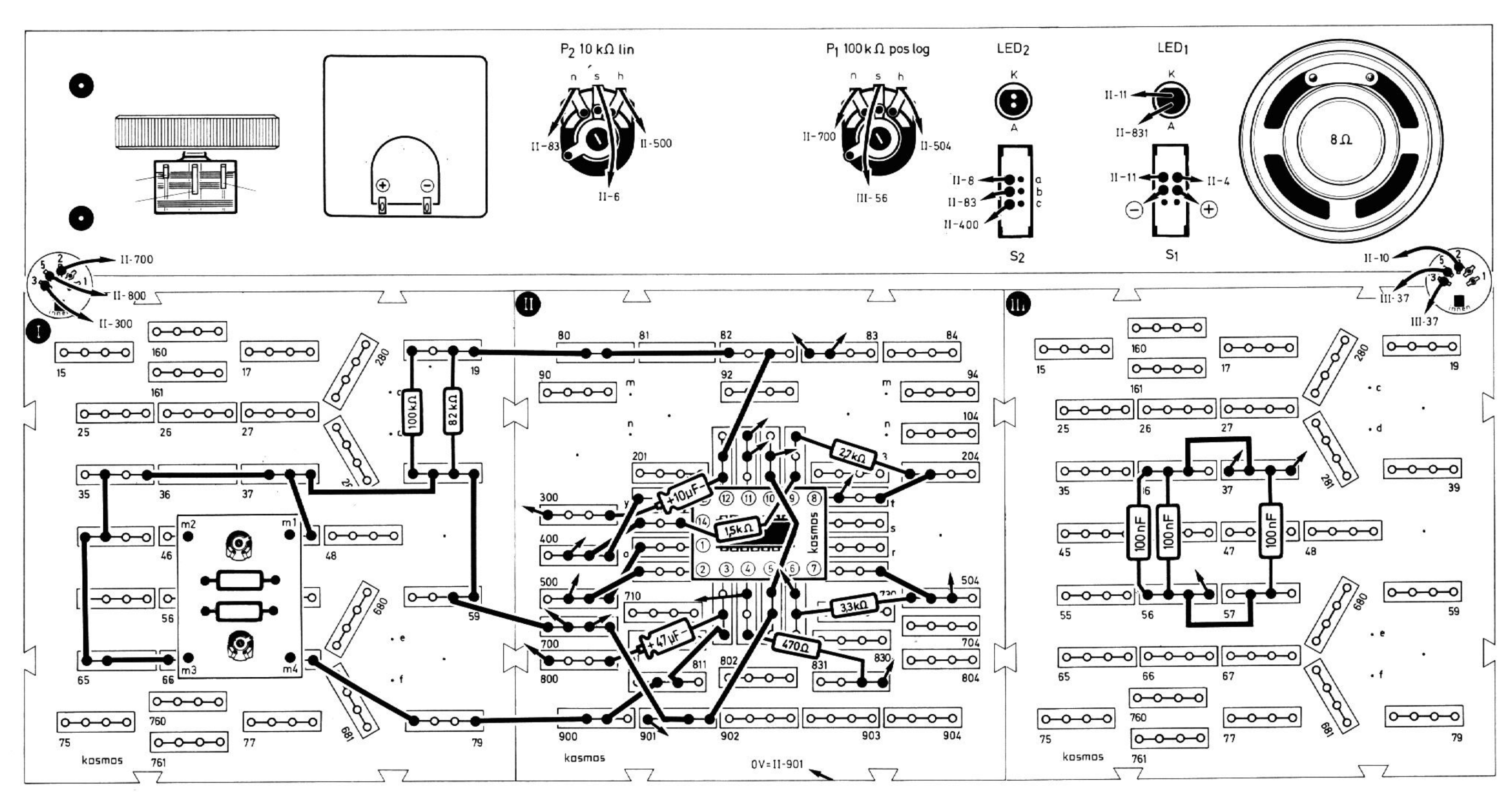


Bild 252. Aufbaubild Stereo-Sprachausblender

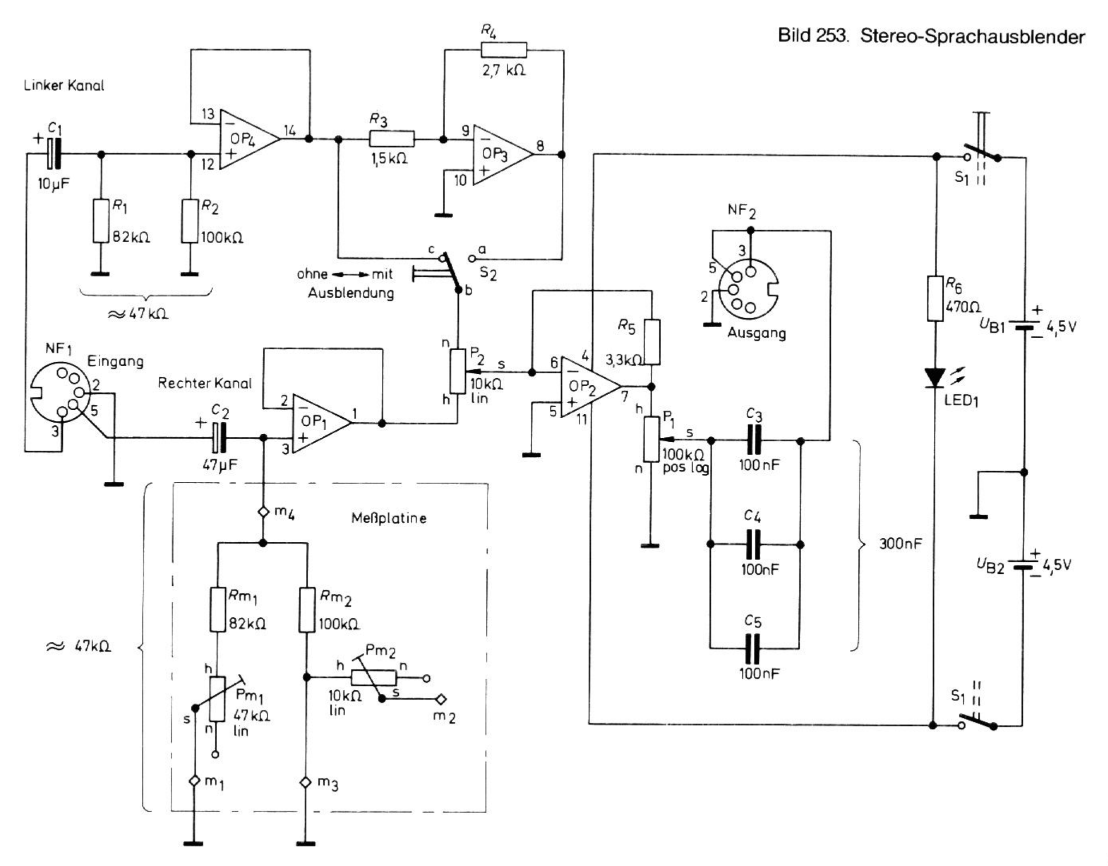


Bild 253. Stereo-Sprachausblender

oben, wird das um 180° phasenverschobene Signal mit dem Signal des rechten Kanals gemischt. Ist der Effekt ausgeschaltet, S_2 unten, wird das Originalsignal des linken Kanals mit dem rechten Kanal gemischt. Als Mischverstärker arbeitet der Operationsverstärker OP_2. Die Meßplatine dient in dieser Schaltung nur zur Erzeugung eines Eingangswiderstandes von ca. 47 kΩ für den rechten Kanal. Dies geschieht durch Parallel-Schaltung von R_{m2} und R_{m1} auf der Meßplatine mit P_{m1} am rechten Anschlag.

Zu beachten ist, daß die Schaltung aus einem Stereosignal durch Mischen der beiden Kanäle ein Monosignal erzeugt. Die Leuchtdiode LED_1 dient zur Einschaltkontrolle.

56. Spannungs-Frequenz-Wandler

(Aufbaubild 254, Schaltbild 255)

Ein Spannungs-Frequenz-Wandler kann als Baustein für ein Digitalvoltmeter verwendet werden: Er erzeugt Impulse, deren Anzahl pro Zeiteinheit (Frequenz) in direktem Verhältnis zur Eingangsspannung steht. Die Impulsanzahl kann anschließend während einer festen Zeit von einem elektronischen Zähler gezählt und z. B. mit Leuchtziffern angezeigt werden. Die Ziffernanzeige entspricht dann dem Wert der auszumessenden Spannung.

Da die Impulse nacheinander erzeugt werden, handelt es sich bei dem Spannungs-Frequenz-Wandler um einen sog. seriellen Analog-Digital-Wandler; einen parallel arbeitenden Analog-Digital-Wandler haben wir bereits in Kapitel 32 kennengelernt.

Am Eingang des Integrierers mit OP_1 liegt die Eingangsspannung an (in unserem Versuchsaufbau kann sie mit P_2 eingestellt werden); sie wird „integriert", d. h. die Ausgangsspannung U_{A1} des Integrierers steigt linear an. Je nach Höhe der Eingangsspannung erreicht U_{A1} den durch R_{10} und R_{11} festgelegten Umschaltpunkt des Komparators mit OP_2 früher oder später. Wenn der Komparator kippt, geht sein Ausgang auf positive Sättigungsspannung, Transistor T_1 wird leitend und verbindet dadurch den „virtuellen" Nullpunkt des Integrierers mit dem Komparator-Eingang, so daß die Komparator-Schwelle nun bei 0 V liegt. Über R_{11} wird der Integrationskondensator entladen. Die Ausgangs-

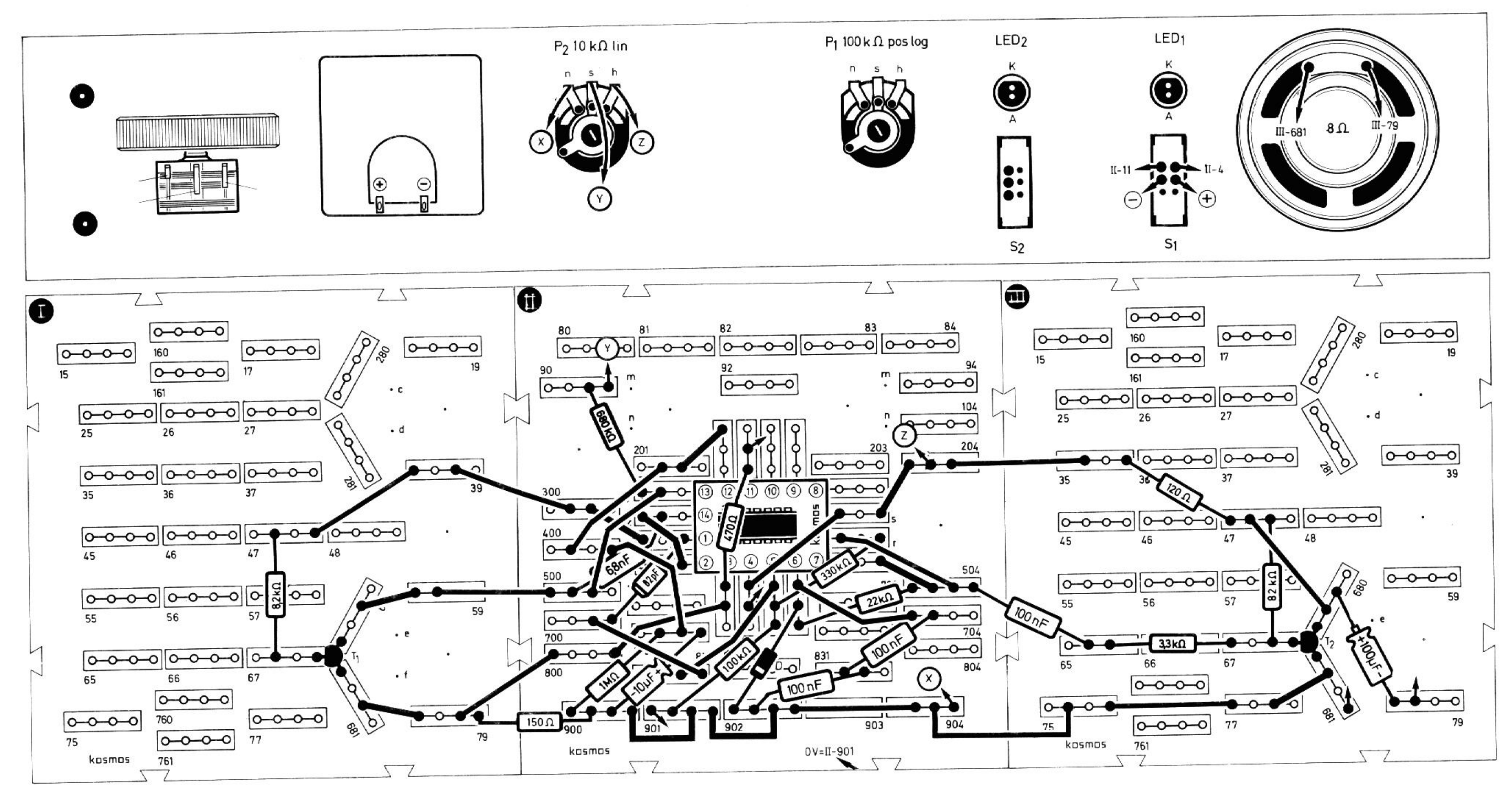


Bild 254. Aufbaubild Spannungs-Frequenz-Wandler

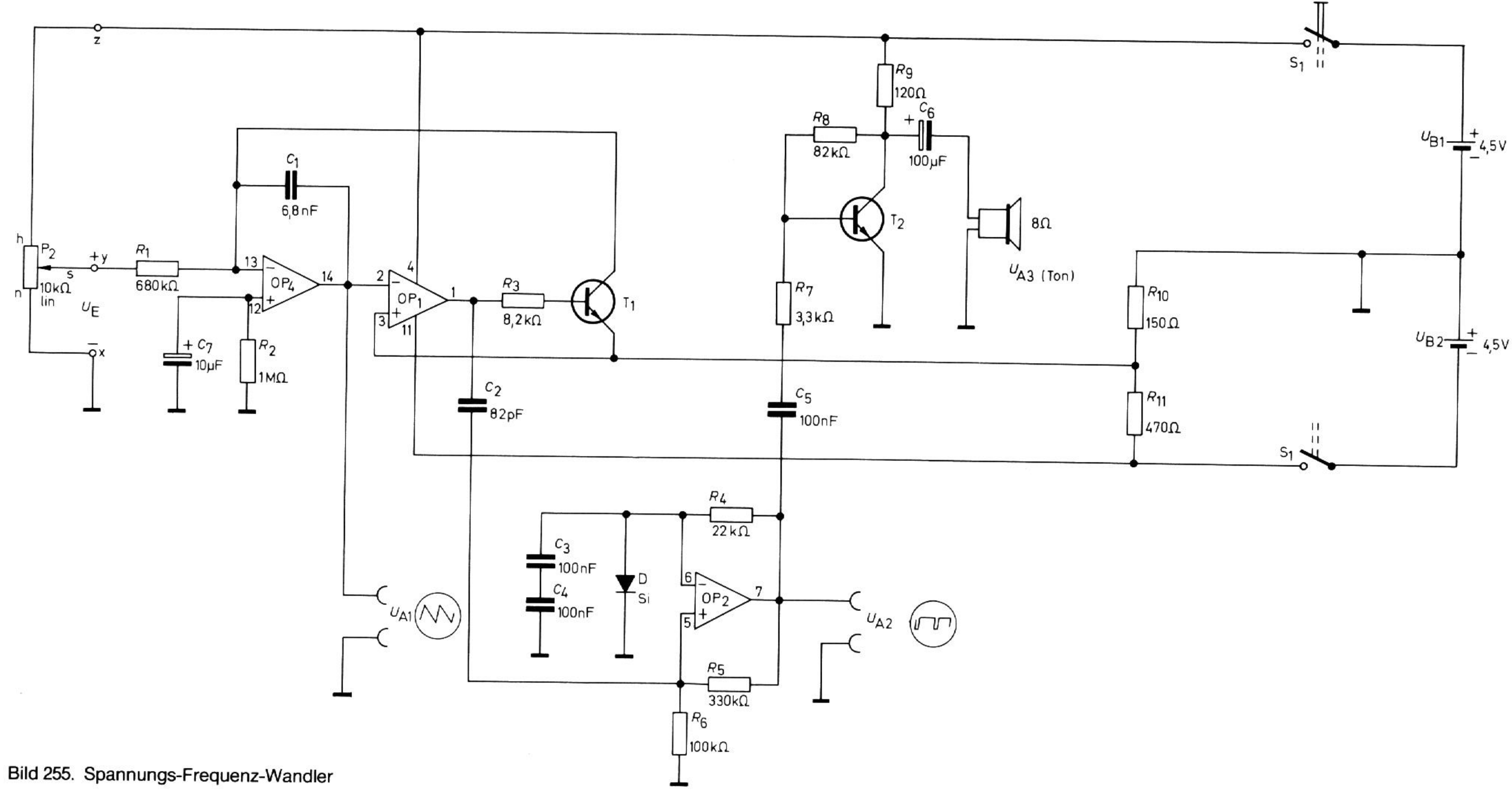


Bild 255. Spannungs-Frequenz-Wandler

spannung des Integrierers fällt nun sehr rasch unter die Umschaltspannung des Komparators, dieser kippt zurück. T_1 sperrt wieder, und der Integriervorgang beginnt aufs neue. Am Ausgang des Integrierers entsteht so eine sägezahnförmige Ausgangsspannung, während am Ausgang des Komparators schmale Rechteckimpulse erzeugt werden. Durch ein nachgeschaltetes Monoflop mit OP_3 wird die Breite dieser Impulse erhöht, damit die erzeugte Frequenz auch als Ton im Lautsprecher deutlich hörbar wird.

T_2 bildet eine Verstärkerstufe.

Wenn nun die Eingangsspannung durch Drehen an P_2 variiert wird, verändert sich auch entsprechend die Tonhöhe im Lautsprecher. Bei Verdoppelung der Eingangsspannung z. B. muß jetzt ein Ton genau eine Oktave höher zu hören sein, da sich die Frequenzen im Oktavabstand wie 1 : 2 verhalten.

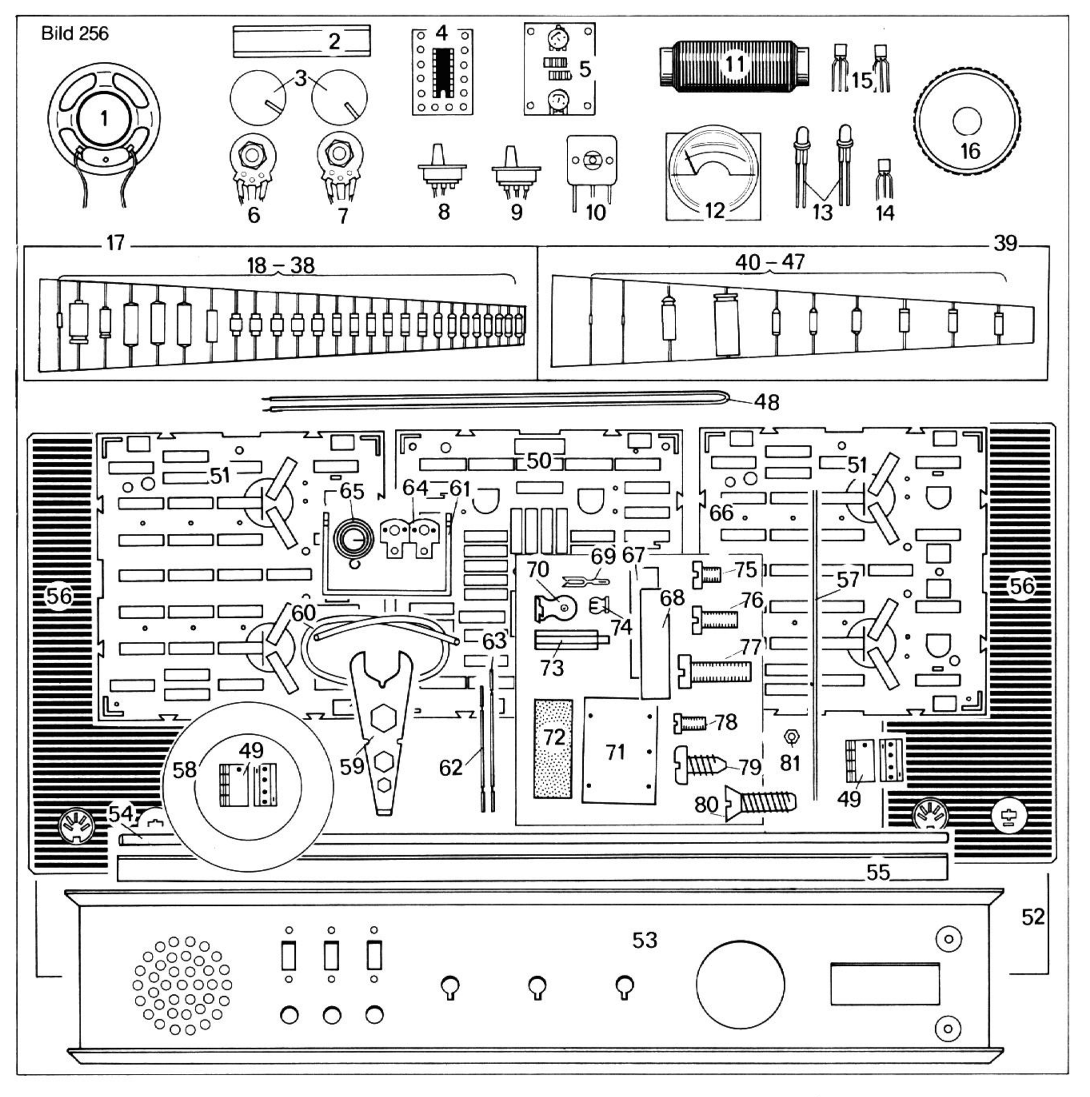


Bild 256

Teil III. Montageanleitung

57. Einzelteile des Kastens KOSMOS Elektronik-Labor E 200

Teil		Best. Nr.
1. Lautsprecher 8 Ω kpl. 50 mm ⌀		60-0005.2
2. Ferritstab		60-2104.8
3. Zwei Drehknöpfe	je	60-8361.7
4. IC-Modul		60-0014.6
5. Meßplatine		60-0016.6
6. Potentiometer 10 kΩ lin kpl.		60-0038.2
7. Potentiometer 100 kΩ pos log kpl.		60-0040.2
8. Zweipoliger Schalter kpl.		60-0046.2
9. Umschalter kpl.		60-0047.2
10. Doppel-Drehkondensator kpl.		60-0041.2
11. Rolle Wicklungsdraht		60-0034.2
12. Meßinstrument 1,2 kΩ / 100 µA		60-0008.2
13. Zwei Leuchtdioden LED (CQY 40 L**)) 5 ⌀ rot	je	60-0205.8
14. pnp-Komplementär-Transistor (BC 308 C)**)		60-0215.8
15. Zwei npn-Transistoren (BC 238 C)**)	je	60-0216.8
16. Abstimmrad		60-8334.7
17. Satz elektronische Bauteile II		60-4118.6
18. Germanium-Diode 1 N 60 M**)		60-0203.8
19. Elektrolytkondensator 100 µF		60-0334.8
20. Elektrolytkondensator 10 µF		60-0335.8
21. Drei Kondensatoren 100 nF *)	je	60-0312.8
22. Kondensator 6,8 nF *)		60-0326.8
23. Kondensator 1 nF (Styroflex) *)		60-0310.8
24. Kondensator 470 pF (± 5% Styroflex) *)		60-0309.8
25. Kondensator 220 pF (± 5% Styroflex) *)		60-0324.8
26. Zwei Kondensatoren 82 pF (± 5% Styroflex) *)	je	60-0316.8
27. Widerstand 82 Ω ½ W (grau-rot-schwarz)		60-0420.8
28. Widerstand 120 Ω ½ W (braun-rot-braun)		60-0416.8
29. Widerstand 150 Ω ½ W (braun-grün-braun)		60-0419.8
30. Zwei Widerstände 470 Ω ½ W (gelb-violett-braun)	je	60-0435.8
31. Widerstand 680 Ω ½ W (blau-grau-braun)		60-0436.8
32. Widerstand 2,7 kΩ ⅓ W (rot-violett-rot)		60-0426.8

*) Siehe auch andere Beschriftung auf Seite 210–211.

**) oder Vergleichstypen

33. Widerstand 3,3 kΩ ⅓ W (orange-orange-rot) 60-0437.8
34. Widerstand 8,2 kΩ ⅓ W (grau-rot-rot) 60-0438.8
35. Widerstand 22 kΩ ⅓ W (rot-rot-orange) 60-0433.8
36. Widerstand 100 kΩ ⅓ W (braun-schwarz-gelb) 60-0425.8
37. Widerstand 330 kΩ ⅓ W (orange-orange-gelb) 60-0443.8
38. Zwei Widerstände 680 kΩ ⅓ W (blau-grau-gelb) je 60-0442.8
39. Satz elektronische Bauteile III 60-4119.6
  40. Zwei Silizium-Dioden 1 N 4148**) je 60-0204.8
  41. Elektrolytkondensator 47 μF 60-0331.8
  42. Elektrolytkondensator 470 μF 60-0333.8
  43. Widerstand 1,2 Ω ½ W (braun-rot-gold) 60-0401.8
  44. Zwei Widerstände 12 Ω ½ W (braun-rot-schwarz) je 60-0412.8
  45. Widerstand 1,5 kΩ ⅓ W (braun-grün-rot) 60-0444.8
  46. Widerstand 82 kΩ ⅓ W (grau-rot-orange) 60-0429.8
  47. Widerstand 1 MΩ ⅓ W (braun-schwarz-grün) 60-0451.8
48. Bündel Verbindungsdraht 60-4111.2
49. Zwei Beutel Steckfedern je 60-0021.2
50. Aufbauplatte IC (schwarz) 60-8348.7
51. Zwei Aufbauplatten E (schwarz) je 60-8349.7
52. Abdeckplatte 60-5236.7
53. Frontplatte 60-2185.7
54. Aluminiumstab 60-0024.3
55. Alu-Winkel 60-2186.7
56. Zwei Seitenteile je 60-8333.7
57. Kupfernickeldraht CuNi 44, 0,7 ⌀ 60-0005.3
58. Lautsprecher-Klebefolie 60-0069.6
59. Universalschlüssel 60-4303.8
60. Zwei Isolierschläuche je 60-8401.3
61. Kontaktstück 60-0033.7
62. Beutel kurze Drahtbrücken 60-0022.2
63. Beutel lange Drahtbrücken 60-0024.2
64. Streifen Anschlußbleche 60-0081.6
65. Kegelfeder 60-0022.7
66. Beutel Kleinteile 61-1001.2
  67. Kupferblechstreifen
  68. Zwei Zinkblechstreifen
  69. Zwölf Gabelfedern
  70. Zwei Taster
  71. Isolierplatte für Meßplatine
  72. Schleifpapier
  73. Vier Verbindungsstifte
  74. Vier Montagehülsen
  75. Zwei Zylinderschrauben M 2,5 (3 mm lang)
  76. Zylinderschraube M 2,5 (6 mm lang)
  77. Zwei Zylinderschrauben M 3 (10 mm lang)
  78. Vier Zylinderschrauben (4 mm lang)
  79. Elf Zylinderblechschrauben (6,5 mm lang)
  80. Vier Senkblechschrauben (9,5 mm lang)
  81. Vier Sechskantmuttern (M3)
  82. Zwei MS-Scheiben (ohne Abbildung)

Experimentierbuch (mit Aufklebebogen und Ausschneidetafel nach Seite 220) 61-1061.6

Aufklebebogen (einzeln) 61-1048.7
Ausschneidetafel (einzeln) 61-1049.7

Im Zuge der Modernisierung der Fabrikationsmethoden kann sich die äußere Form der abgebildeten Einzelteile ändern. Der Inhalt der Fächer entspricht jedoch der Aufstellung. Die verschiedenen Experimentierkästen enthalten u. a. unterschiedliche Mengen gleicher Materialien. Da es jedoch für ein bestimmtes Material nur eine Nachfüllpakkung gibt, beziehen sich sowohl die hier genannten Bestellnummern als auch die Mengenangaben auf dem Bestellschein auf die jeweilige Nachfüllpackung.

Nachbestellung von Einzelteilen

Verbrauchsmaterial und in Verlust geratene Teile sind beim örtlichen Fachhandel erhältlich. Innerhalb der Bundesrepublik Deutschland und West-Berlins können Ersatzteile auch bei KOSMOS, Abt. Ersatzteile, Postfach 640, 7000 Stuttgart 1, unter Verwendung des dem Kasten beiliegenden Ersatz-Bestellscheines nachbezogen werden (falls der Bestellschein nicht mehr vorhanden ist, bitte beim Verlag anfordern).

Aufträge unter einem Gesamtbetrag von DM 5,– können leider nicht ausgeführt werden. Direktlieferungen aus Deutschland in andere Länder sind nicht möglich.

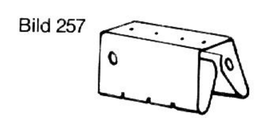
58. Das KOSMOtronik®-System

Grundelemente des KOSMOtronik-Systems sind die drei Aufbauplatten, zu denen die elektronischen Bauelemente aus einer Vielzahl von Original-Industrieteilen extra für die Experimente des KOSMOS Elektronik-Labors E 200 ausgesucht worden sind.

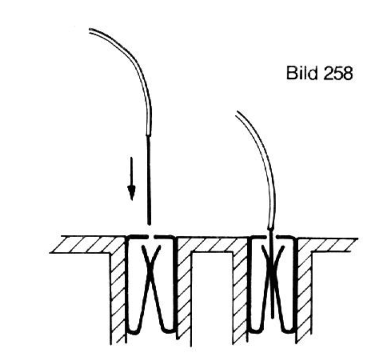
Den Zusammenbau beginnen wir mit der Bestükkung der beiden Aufbauplatten E (Teile 51) und der Aufbauplatte IC (Teil 50) mit den Steckfedern.

59. Steckfedern in den Aufbauplatten

Die Steckfedern (Teil 49) sind aus Metall und sollen verschiedene Bauteile leitend miteinander verbinden (Bild 257). In die vier kleinen Löcher auf dem Rücken der Steckfeder können sowohl die An-

Bild 257


schlußdrähte der Widerstände, Kondensatoren usw. als auch die blanken Enden der Drähte gesteckt werden (Bild 258). **Achtung:** Die Isolation


Bild 258

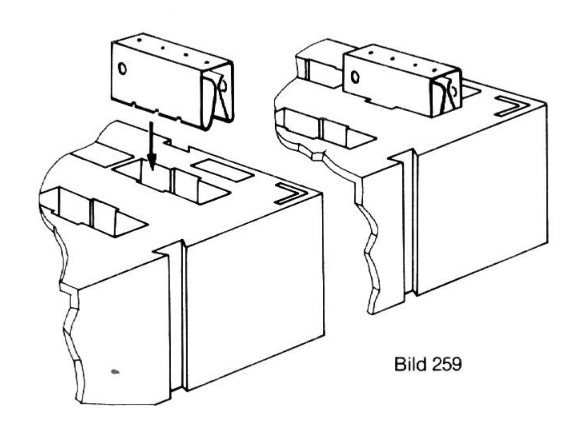


Bild 259

darf nicht mit eingesteckt werden, weil der Kontakt dann unterbrochen wäre.

( ) Steckfedern leicht zusammendrücken und senkrecht von oben in die Öffnungen der Aufbauplatte drücken, bis sie fühlbar einrasten (Bild 259 und 260).

Neben den Öffnungen sind Zahlen eingeprägt, die in den Schaltungsaufbauten als Steckfedernummern erscheinen.

Auf der Aufbauplatte IC bleibt das Loch über der Steckfeder 82 leer.

60. Aufbauplatten zusammenstecken und trennen

Die drei Aufbauplatten bilden zusammen eine Experimentiereinheit.

( ) Platten nebeneinander so auf den Tisch stellen, daß man die Zahlen lesen kann. Die Aufbauplatte IC steht zwischen den beiden Aufbauplatten E.

( ) Die vier Verbindungsstifte (Teil 73) sollen die drei Platten zusammenhalten. Sie werden in die Randrillen gesteckt, die sich beim Zusammenschieben der Aufbauplatten treffen (Bild 261).

Die Platten werden von links nach rechts mit den römischen Zahlen I, II und III vom Aufklebebogen gekennzeichnet.

Um die Platten zu trennen, stellt man eine Platte auf den Tischrand und drückt die überstehende Aufbauplatte nach unten.

61. Frontplatte

Die Frontplatte (Teil 53) ist später, wenn sie fertig montiert ist, eine Bedienungseinheit, in der Lautsprecher, Leuchtdioden, Schalter, Potentiometer, Meßinstrument und Drehkondensator zur Einstellung von Sendern übersichtlich und gut erreichbar nebeneinander angeordnet sind.

Vor der Montage kann man die Frontplatte mit einem verseiften Stahlschwamm (zum Beispiel Akopads und Abrazo) in Längsrichtung polieren. Sie bekommt dann einen schönen Glanz. Mit weichem Tuch abtrocknen und nachpolieren.

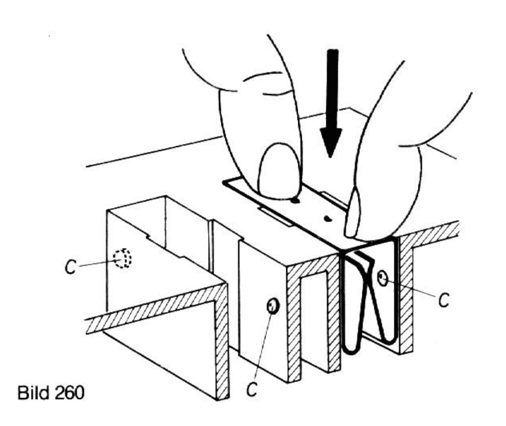


Bild 260

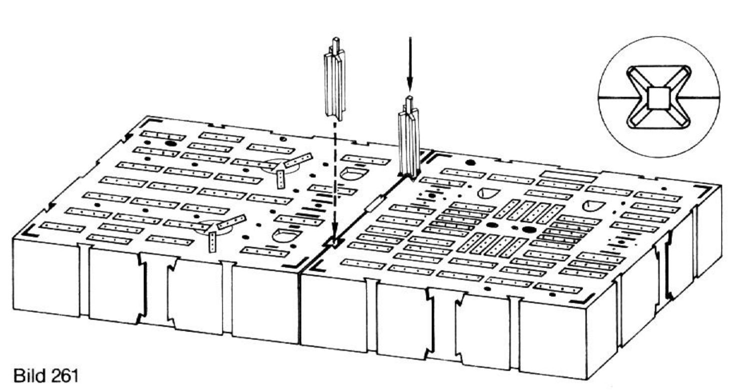


Bild 261

61.1 Voreinstellung der Trimmer des Doppel-Drehkondensators

Vor der Montage des Doppel-Drehkondensators (Drehko, Teil 10) müssen die beiden Trimmer an seiner Unterseite mit einem Schraubenzieher voll ausgedreht werden, weil man sonst später nicht alle Mittelwellensender hören kann.

Bild 262 zeigt die Stellung der Halbkreisscheiben, wenn die Trimmer voll ausgedreht sind. Die Lage der Schraubenschlitze ist nicht maßgebend, weil sie bei jedem Exemplar anders liegen.

Bild 263 zeigt den fertig montierten Drehko und die Stellung der Trimmer.

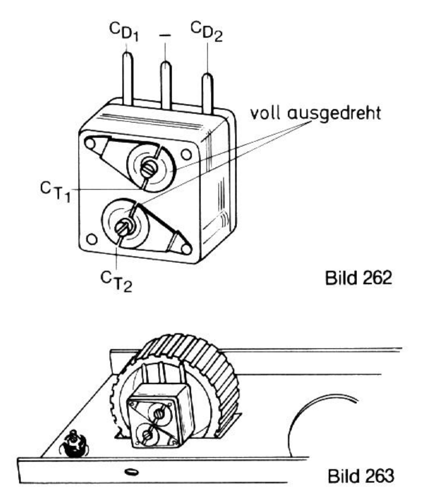


Bild 262

Bild 263

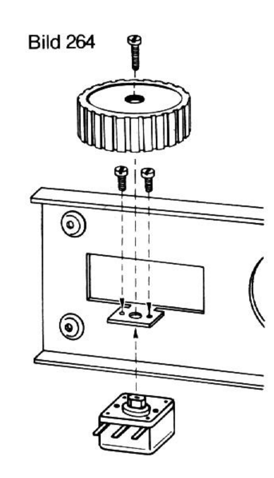
61.2 Montage des Doppel-Drehkondensators

Der Drehko muß an der Lasche in der rechteckigen Öffnung der Frontplatte befestigt werden (Bild 264). Falls die Drehko-Trimmer noch nicht eingestellt sind, Kapitel 61.1 lesen.

() Drehko von unten in die Lasche der Öffnung halten und mit zwei Zylinderschrauben (3 mm lang, Teil 75) festschrauben.

() Abstimmrad (Teil 16) von hinten auf den Drehko schieben, bis der Achsstummel des Drehkos in

Bild 264

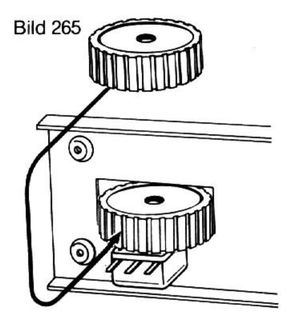


das abgeflachte Loch des Zapfens an der Unterseite des Rades eingreift (Bild 265).

() Abstimmrad mit der Zylinderschraube (6 mm lang, Teil 76) festschrauben. Die Schraube darf nicht mit Gewalt festgezogen werden, weil sonst der Metallblock im Drehko zerstört werden kann.

Das Rad darf beim Drehen nirgends schleifen.

Bild 265

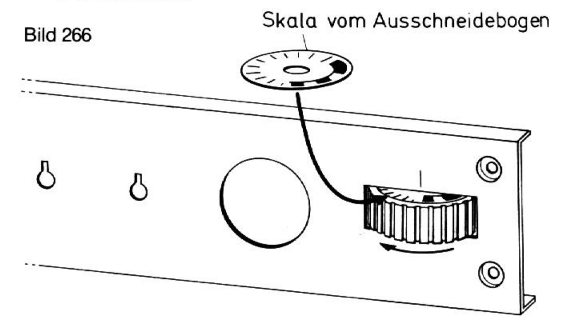


() Die freien Enden der Anschlußlitzen mit Fähnchen vom Aufklebebogen versehen (von hinten): links C_{D1}, Mitte $C_{\perp}$, rechts C_{D2}. (Aufklebebogen und Ausschneidetafel am Ende des Buches.)

Auf dem Ausschneidebogen gibt es eine Doppelskala „Radio“. Die eine Skala ist für MW-Empfang, die andere für KW-Empfang bestimmt. Diese Doppelskala wird auf das Abstimmrad geklebt, sobald eine Skala gebraucht wird.

() Skala „Radio“ ausschneiden. Abstimmrad in Pfeilrichtung (Bild 266) bis zum Anschlag drehen und Skala auflegen. Der Anfang der gewünschten Skala muß sich genau unter der Meßmarke befinden. Skala in dieser Lage mit etwas Alleskleber befestigen, so daß sie wieder entfernt werden kann.

Bild 266



Wenn man die andere Skala braucht, wird das Abstimmrad abgeschraubt und so wieder aufgesetzt, daß die neue Skala benutzt werden kann.

61.3 Markierung der Frontplatte

Bevor wir beginnen, Meßinstrument, Potis, LEDs und Schalter zu montieren, kleben wir nach Bild 267 Markierungen auf die Innenseite der Front-

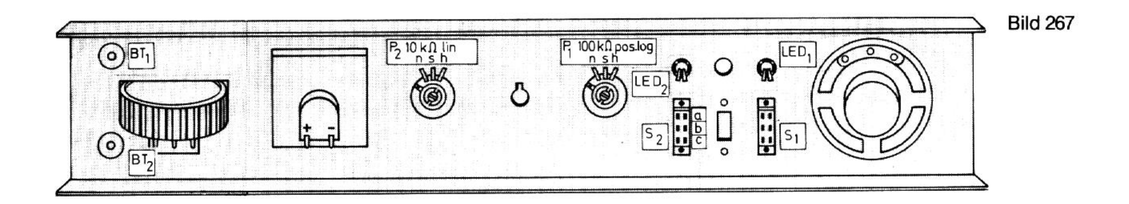


Bild 267

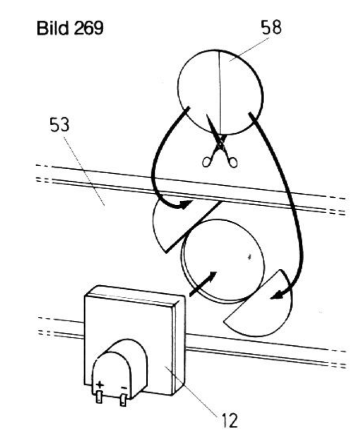


Bild 269

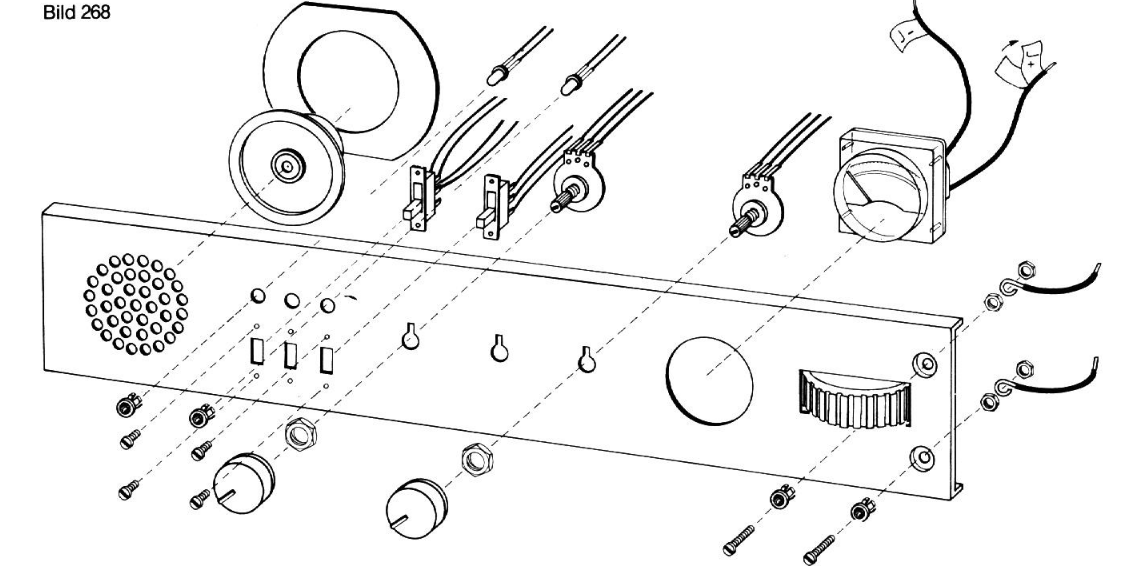
platte. Später kann man dann mühelos das richtige Poti oder die Leuchtdiode, die bei einer bestimmten Schaltung gebraucht wird, finden.

Bild 268 zeigt, wohin die einzelnen Teile gehören.

61.4 Das Meßinstrument

Das Meßinstrument (Teil 12) wird mit dem Innenring der doppelt klebenden Lautsprecher-Klebefolie (Teil 58) neben dem Drehko befestigt.

Bild 268



() Innenteil der Klebefolie zerschneiden und in die Innenseite der Frontplatte kleben (Bild 269).

() Zweite Schutzfolie entfernen.

() Meßinstrument mit der Vorderseite so gegen das Klebeband drücken, daß der KOSMOS-Schriftzug gerade steht.

() Anschlußlitzen mit Fähnchen vom Aufklebebogen versehen (von hinten): linke Litze mit „J + " und rechte Litze mit „J–".

61.5 Meßinstrument im Seitenteil

Bei bestimmten Schaltungen muß das Meßinstrument aus der Frontplatte herausgenommen und in Seitenteil A eingesteckt werden.

() Meßinstrument nach hinten herausdrücken und

() zwischen den oberen Rand des Seitenteils A und die Zapfen 6 und 8 klemmen (Bild 270).

Nach Gebrauch kommt das Meßinstrument wieder an seinen Platz in der Frontplatte.

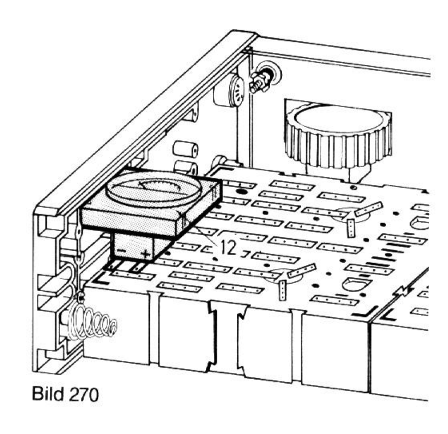


Bild 270

61.6 10-kΩ-Potentiometer

Das Potentiometer 10 kΩ lin (Teil 6), kenntlich an der Beschriftung 10 kΩ, wird als P_2 neben das Meßinstrument montiert (s. auch Kap. 79).

() Sechskantmutter abschrauben.

() Poti von hinten so in das Loch setzen, daß die Nase in den oberen Schlitz eingreift und das Gewinde vorn sichtbar wird (Bild 271).

() Sechskantmutter wieder aufschrauben und mit dem Universalschlüssel (Teil 59) festziehen.

() Achse des Potis mit Schleifpapier etwas abschleifen (Bild 272).

() Poti so drehen, daß der Schleifer in der Mitte der

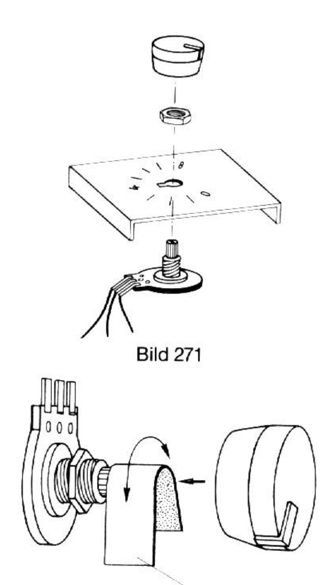

Bild 271

Bild 272

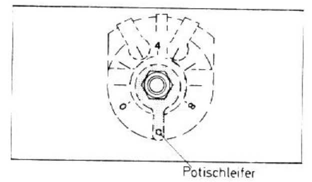


Bild 273

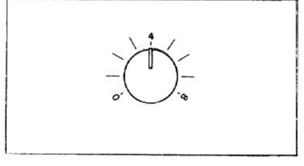


Bild 274

Kohlebahn steht (Innenseite der Frontplatte; Bild 273).

Drehknopf soll so aufgesetzt werden, daß seine Markierung bei dieser Achsenstellung genau auf die 4 des Strahlenkranzes weist (Bild 274).

() Drehknopf in der richtigen Position aufsetzen und dann genau von oben kräftig auf die Achse drücken.

Läßt sich der Knopf über die Anschläge hinausdrehen, muß er vorsichtig wieder abgenommen werden. Man klebt einen schmalen Streifen vom unbedruckten Teil des Aufklebebogens so auf die Achse, daß er bis zum Gewindeteil reicht. Nun den Drehknopf wieder aufsetzen wie zuvor.

61.7 Kennzeichnung der Poti-Anschlußlitzen

Zum Schutz der Verbindungsstellen der Litzen mit dem Poti werden drei 1 cm lange Stücke vom Isolierschlauch (Teil 60) aufgeschoben.

() Drehknopf zum linken Anschlag drehen.

() Frontplatte umdrehen. Der Schleifer sitzt jetzt bei n. Diese Litze mit dem Fähnchen „P_2n“ kennzeichnen.

() Die mittlere Litze wird mit „P_2s“ und die rechte Litze mit „P_2h“ versehen.

61.8 100-kΩ-Potentiometer

Nach P_2 bleibt ein Loch frei. Das Potentiometer 100 kΩ pos. log. (Teil 7) wird als P_1 genau wie das erste Potentiometer in die übernächste Öffnung montiert und mit Isolierschlauch sowie den Fähnchen „P_1n“ „P_1s“ und „P_1h“ versehen.

61.9 Schalter

In unserem Kasten liegen zwei Schalter, die wir als nächstes montieren. Teil 9 ist ein Umschalter mit drei Anschlußlitzen auf einer Seite. Er dient später als Umschalter und kommt jetzt als S_2 in die rechteckige Öffnung neben P_1 (siehe dazu auch Bild 268).

() Schalter so halten, daß sich die Litzen nach der Montage auf der Seite befinden, die P_1 zugewandt ist.

() Schalter mit zwei Zylinderschrauben (4 mm lang, Teil 78) festschrauben.

() Die Litzen werden von oben nach unten mit den Fähnchen „S_2a“, „S_2b“ und „S_2c“ versehen.

Der zweipolige Schalter (Teil 8) hat vier Anschlußlitzen und wird als S_1 in die Öffnung neben das Lautsprechergitter montiert. Zwischen den beiden Schaltern bleibt ein Loch frei.

Die Anschlußlitzen befinden sich nach der Montage oben und in der Mitte. Sie werden wie folgt gekennzeichnet (von hinten): oben links „S_1–“, oben rechts „S_1+“, unten links „$S_1\ominus$“, unten rechts „$S_1\oplus$“.

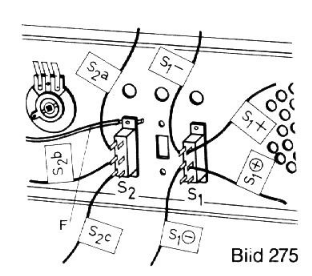


Bild 275

Bild 275 zeigt die fertig montierten Schalter von der Rückseite.

Bei einigen Schaltungen muß unter S_2 ein langer Verbindungsdraht (F) geklemmt werden, wie auf Bild 275 eingezeichnet. Dazu wird die Zylinderschraube etwas gelockert und nach Unterklemmen des Drahtes wieder angezogen.

61.10 Leuchtdioden

Als nächstes werden die beiden Leuchtdioden (Teil 13) montiert. Eine Leuchtdiode oder LED ist ein sehr empfindliches Bauteil, das durch elektrische Überlastung leicht zerstört werden kann. Deshalb darf es nur zusammen mit einem Vorwiderstand (ca. 150 Ω bei 4,5 Volt) verwendet werden (siehe dazu auch Kapitel 76).

Die Leuchtdiode hat einen durchsichtigen roten Körper mit verdicktem Rand, der an einer Seite abgeflacht ist (Bild 276). Der kurze Anschluß an dieser Seite ist die Katode, abgekürzt K. Der zweite längere Anschluß ist die Anode, abgekürzt A.

Jede Leuchtdiode muß vor der Montage in die Frontplatte mit Anschlußdrähten versehen werden.

() Zwei lange Verbindungsdrähte an einem Ende 20 mm lang abisolieren.

() Den blanken Draht um den Katoden-Anschluß der LED wickeln, wie Bild 277 zeigt.

() Anschluß nach oben umbiegen.

() Vom Isolierschlauch (Teil 60) ein 2 cm langes Stück abschneiden und über die Verbindung von Draht und Anschluß schieben.

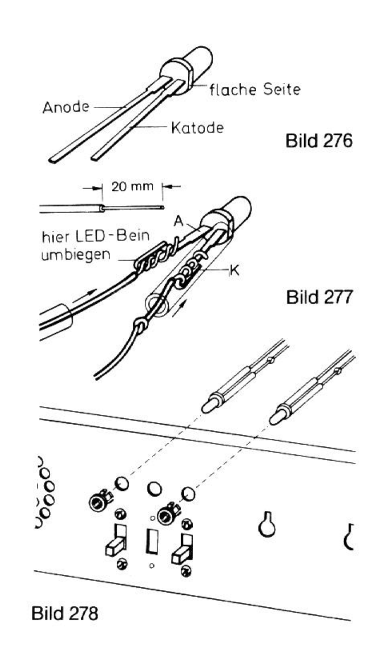


Bild 276

Bild 277

Bild 278

() In den Verbindungsdraht einen Knoten zur Kennzeichnung der Katode machen. Mit Fähnchen „LED_{2K}“ versehen.

() Anoden-Anschluß mit Verbindungsdraht versehen, Isolierschlauch darüberschieben und mit Fähnchen „LED_{2A}“ kennzeichnen.

() Montagehülse (Teil 74) von vorne in das runde Loch über S_2 stecken (Bild 278). Der geschlossene Rand muß vorne auf der Frontplatte sichtbar sein.

() LED von hinten so in die Hülse stecken, daß die Katode sich oben befindet. Der rote Körper muß auf der Vorderseite der Frontplatte zu sehen sein.

Diese Leuchtdiode trägt die Bezeichnung LED$_2$.

Die zweite Leuchtdiode wird vorbereitet, über S$_1$ montiert wie LED$_2$ und mit den Fähnchen „LED$_{1K}$“ und „LED$_{1A}$“ gekennzeichnet. Sie trägt in Schaltbildern und Aufbaudarstellungen die Bezeichnung LED$_1$.

(Den restlichen Isolierschlauch gut aufbewahren, weil er später noch gebraucht wird.)

61.11 Der Lautsprecher

Der Lautsprecher (Teil 1) wird mit der Lautsprecher-Klebefolie (Teil 58) hinter das Lautsprecher-Gitter geklebt (Bild 279).

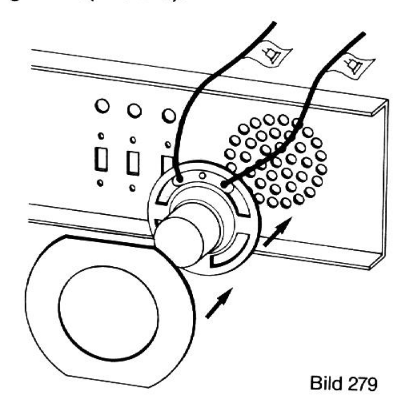
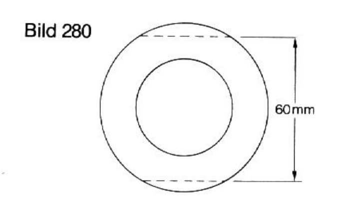


Bild 279

Bild 280



() Der Ring der Klebefolie ist zu groß und muß zurechtgeschnitten werden, wie Bild 280 es zeigt.

() Nach Abnehmen der Schutzfolie den Ring mit dem Lautsprecher gegen das Gitter drücken.

61.12 Berührungstaste

In die beiden Löcher neben dem Drehko sollen Berührungstasten montiert werden, die wir später bei einigen Schaltungen brauchen werden. Die langen Verbindungsdrähte werden bei Bedarf angeschlossen.

() Montagehülse wie bei der LED-Montage von vorn in das obere Loch schieben (siehe auch Bild 268). Der geschlossene Rand ist von vorne sichtbar.

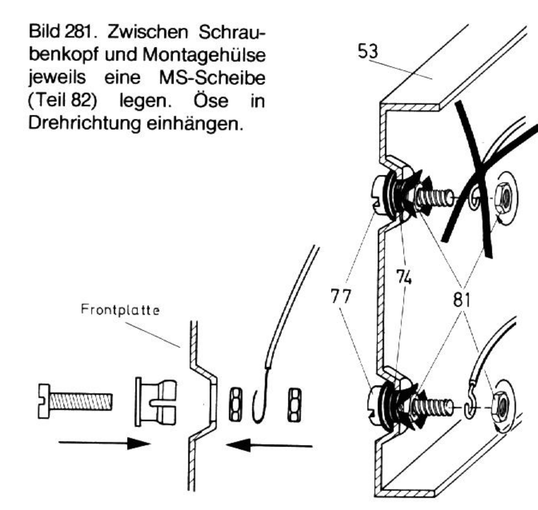
() Eine Zylinderschraube (10 mm lang, Teil 77) von vorn durch die Montagehülse schieben und von hinten eine Sechskantmutter (Teil 81) so weit aufschrauben, daß sie fast ganz in der Montagehülse verschwindet.

() Zweite Sechskantmutter auf die Zylinderschraube schrauben, aber noch nicht fest anziehen.

() Einen Verbindungsdraht (Teil 48) an beiden Seiten abisolieren. Ein abisoliertes Ende zu einer Öse biegen und diese Öse richtig herum zwischen den beiden Sechskantmuttern über die Schraube hängen (Bild 281). Wenn die Öse falsch herum zwischen die Muttern kommt, öffnet sie sich beim Anziehen der Mutter und hat keinen guten Kontakt.

() Die zweite Berührungstaste ebenso montieren wie die erste.

Bild 281. Zwischen Schraubenkopf und Montagehülse jeweils eine MS-Scheibe (Teil 82) legen. Öse in Drehrichtung einhängen.



62. Drahtbrücken

An der Unterseite der Aufbauplatten befinden sich in einer Ecke vier Kerben. Mit diesen Kerben können wir kurze und lange Drahtbrücken sowie die Widerstände und Kondensatoren biegen. Die kurzen Drahtbrücken (Teil 62) werden in den vorderen Kerben, die langen Drahtbrücken (Teil 63) und die Widerstände in den hinteren Kerben gebogen. Die kurzen Drahtbrücken haben fertig gebogen eine Länge von 15 mm, die langen Drahtbrücken und die Widerstände von 30 mm (Bilder 283 und 284). Mit den Drahtbrücken werden die Steckfedern leitend miteinander verbunden (285).

Widerstände, Kondensatoren und Dioden können auch mit dem Universalschlüssel gebogen werden, wie Bild 286 es zeigt.

Man kann diese Arbeit erledigen, bevor das Chassis zusammengebaut wird. Wem das zu lange dauert,

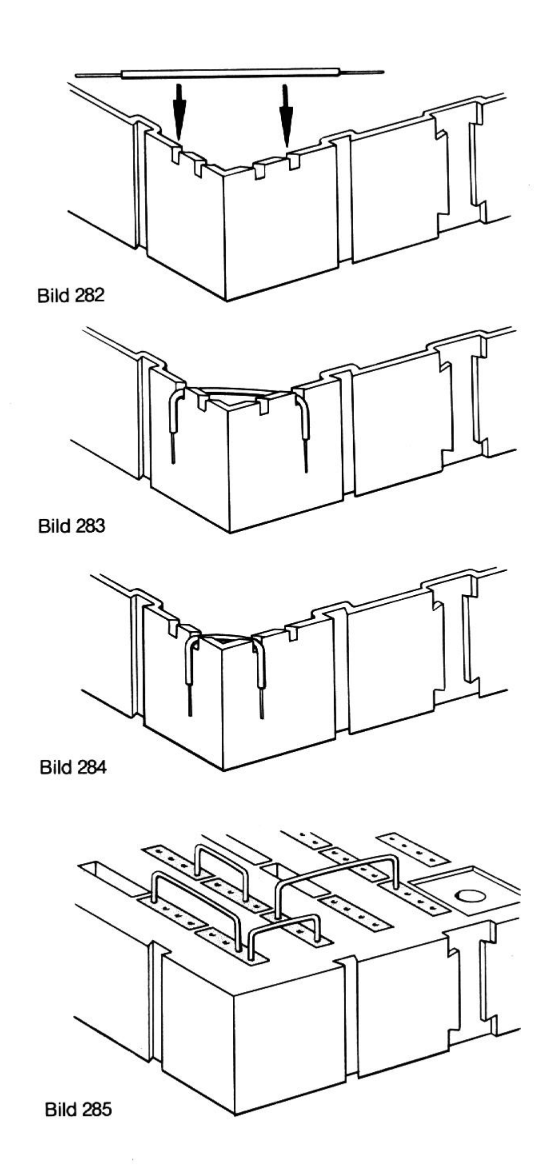


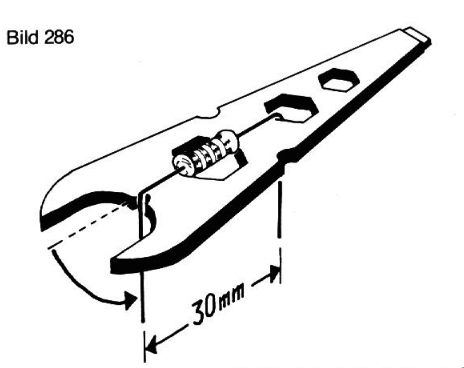
Bild 282

Bild 283

Bild 284

Bild 285

Bild 286



biegt zuerst nur so viele Drahtbrücken, wie er für die ersten Aufbauten gebraucht. Später kann man die Aufbauplatten wieder aus dem Chassis herausnehmen und den Rest biegen.

63. Montage des Seitenteils A

Die beiden Seitenteile (Teil 56) sind völlig gleich, müssen aber unterschiedlich montiert werden. Wir legen beide Teile nebeneinander vor uns auf den Tisch, wie Bild 287 es zeigt. Das linke Seitenteil kennzeichnen wir mit dem Großbuchstaben A und das rechte Seitenteil mit B vom Aufklebebogen.

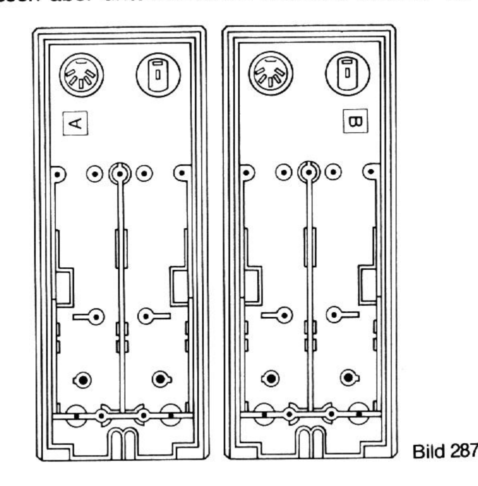
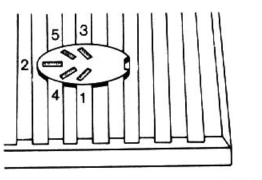


Bild 287

Wir beginnen die Montage mit dem Seitenteil A.

63.1 Montage der NF-Buchse

Bei Bedarf können NF-Buchsen wie folgt montiert werden:



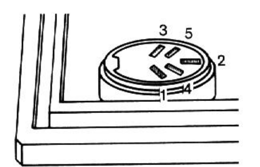


Bild 288

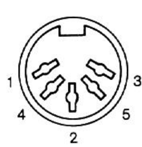


Bild 289

Die NF-Buchse hat 5 Löcher, die auf der Innenseite mit den Nummern 1, 4, 2, 5, 3 versehen sind (Bild 288 und 289). Für unsere Versuche müssen wir die Löcher mit 5 Gabelfedern (Teil 69) bestücken.

() Die Gabelfedern von der Außenseite in die Löcher stecken, wie Bild 290 es zeigt. Die Lötösen werden auf der Innenseite mit dem Universalschlüssel etwas gebogen, damit sie nicht wieder aus ihren Löchern rutschen können (Bild 291).

Bei Bedarf können lange Verbindungsdrähte an den Lötösen befestigt werden, wie Bild 292 es zeigt.

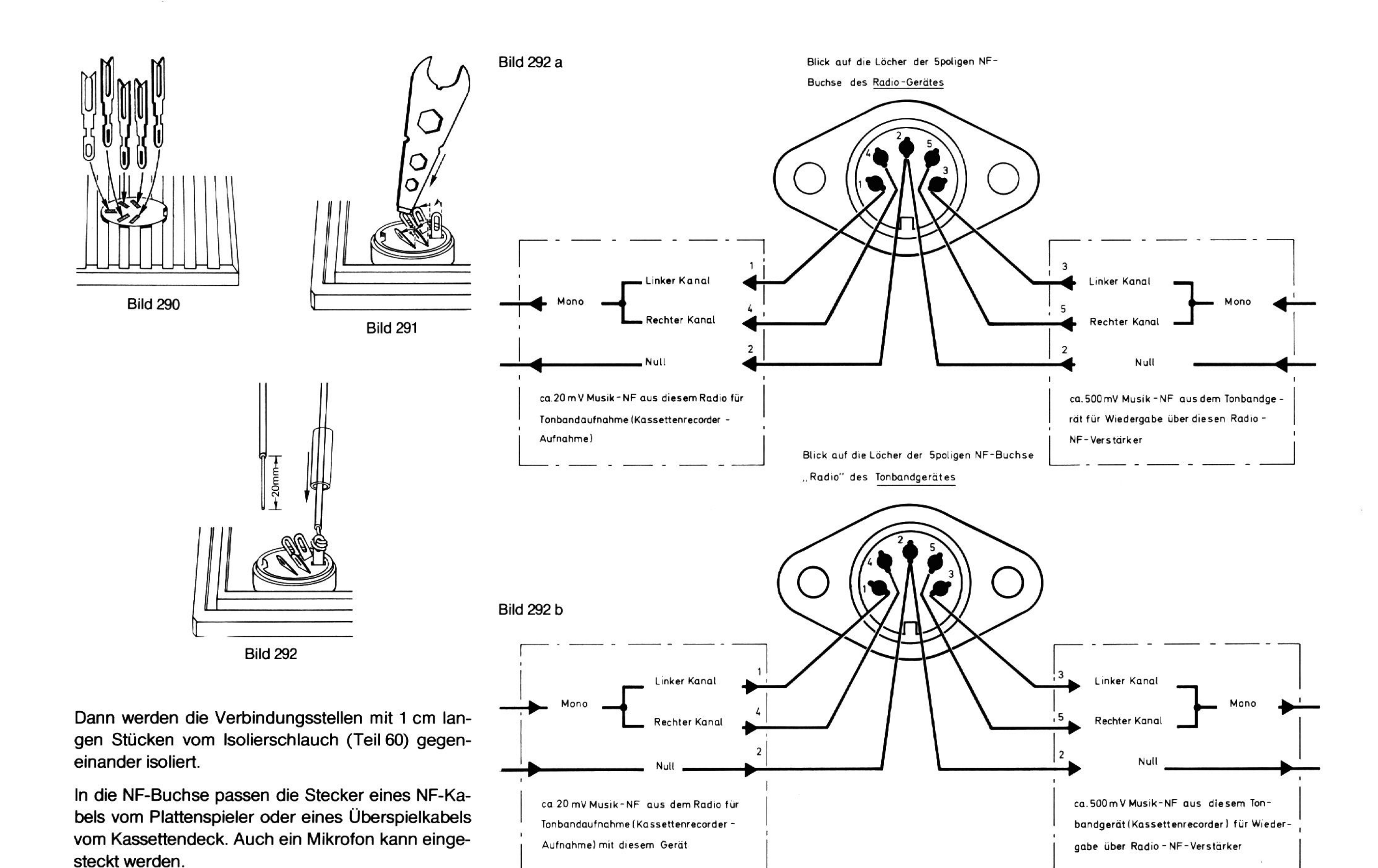


Bild 290

Bild 291

Bild 292

Dann werden die Verbindungsstellen mit 1 cm langen Stücken vom Isolierschlauch (Teil 60) gegeneinander isoliert.

In die NF-Buchse passen die Stecker eines NF-Kabels vom Plattenspieler oder eines Überspielkabels vom Kassettendeck. Auch ein Mikrofon kann eingesteckt werden.

63.2 Montage des Minusanschlusses

Die Kegelfeder (Teil 65) dient später als Minusanschluß. Sie wird mit einer Zylinderblechschraube (6,5 mm lang, Teil 79) bei 12 befestigt (Bild 293).

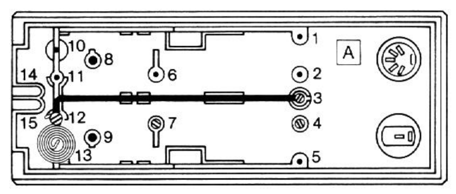


Bild 293

() Zylinderblechschraube in das Loch bei 12 schrauben. Sie muß von oben gerade angesetzt und kräftig eingedreht werden, weil sie sich ihr eigenes Gewinde schneiden muß.

() Zylinderblechschraube wieder herausschrauben, durch die Öse an der größten Windung der Kegelfeder stecken und wieder in das Loch bei 12 schrauben. Noch nicht fest anziehen. Die Kegelfeder sitzt dann über dem Loch bei 13.

() Von einem langen Verbindungsdraht ein 130 mm langes Stück abschneiden und an beiden Enden 10 mm lang abisolieren.

() Das zu einer Öse gebogene Ende des Verbindungsdrahtes bei 12 um die Zylinderblechschraube legen (wie in Kapitel „Berührungstasten" beschrieben) und die Schraube ganz fest anziehen.

Der Verbindungsdraht wird über den Mittelsteg zu Loch 3 geführt und dort mit einer Zylinderblechschraube befestigt. Diese Schraube noch nicht fest

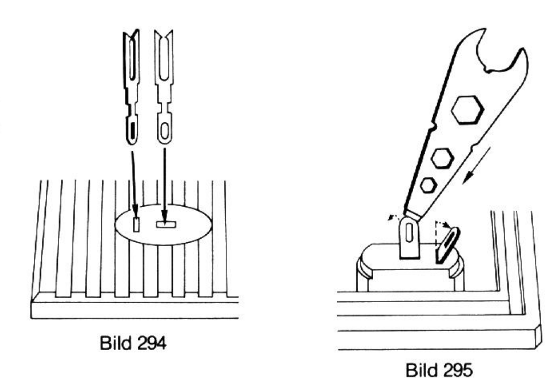


Bild 294

Bild 295

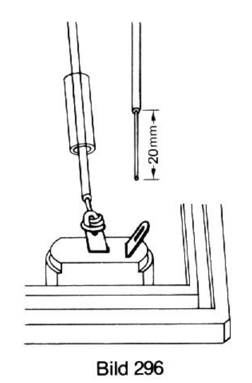
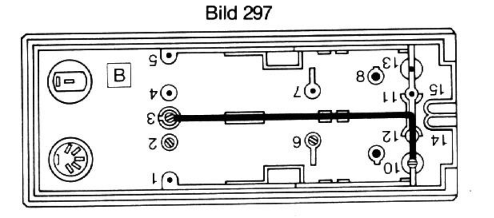


Bild 296

Bild 297



anziehen, denn später wird auch die lange Anschlußlitze $S_1 \ominus$ vom Schalter S_1 an dieser Schraube befestigt.

63.3 Montage des Seitenteils B

Im Seitenteil B wird als erstes die NF-Buchse mit fünf Gabelfedern bestückt.

In diesem Teil werden auch zwei Federn in die Lautsprecher-Buchse gesteckt, wie die Bilder 294 – 296 es zeigen.

Bei 10 wird der Plus-Anschluß montiert (Bild 297).

() Eine Zylinderblechschraube in Loch 10 schrauben. Nicht fest anziehen.

() Einen 145 mm langen Verbindungsdraht an beiden Seiten 10 mm lang abisolieren, bei 10 eine Drahtöse unter die Zylinderblechschraube legen und die Schraube fest anziehen.

() Draht über den Mittelsteg wie beim Seitenstück A zu Loch 3 führen.

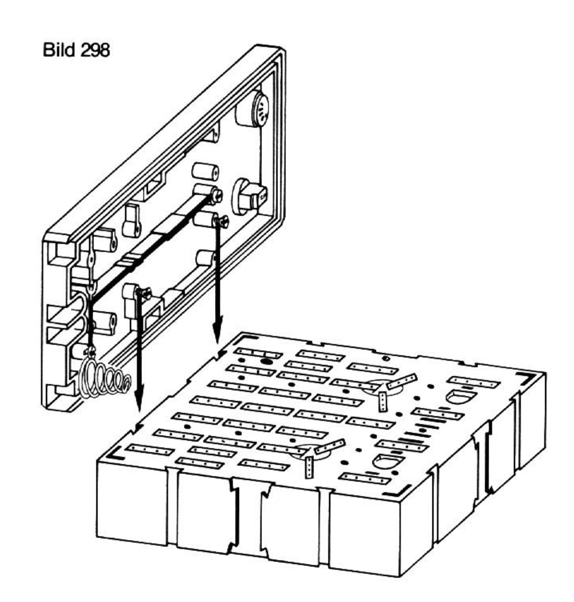
() Bei 3 eine Zylinderblechschraube einschrauben und damit das andere Ende des Verbindungsdrahtes befestigen. Noch nicht fest anziehen, da später die Anschlußlitze $S_1 \oplus$ von Schalter S_1 an dieser Schraube befestigt wird.

63.4 Halterungen für die Aufbauplatten

Die Aufbauplatten werden später an den Seitenteilen befestigt. Dazu müssen insgesamt vier Senkblechschrauben (Teil 80) in die Seitenteile geschraubt werden.

() Je eine Senkblechschraube senkrecht in die Lö-

Bild 298



cher bei 2 und 6 des Seitenteils B und bei 4 und 7 des Seitenteils A schrauben.

Die Schrauben müssen so weit eingedreht werden, daß der Gewindeschaft gerade nicht mehr zu sehen ist.

Der Abstand zwischen den beiden Schraubenköpfen ist genauso groß wie der zwischen den beiden Kerben am Rand der Aufbauplatte.

() Aufbauplatte auf den Tisch stellen und die Schraubenköpfe von oben in die Randkerben führen (Bild 298).

Die Verbindung soll nicht zu stramm, aber auch nicht zu locker sein. Mit dem Universalschlüssel kann man die Schrauben entweder geringfügig anziehen oder etwas lockern.

64. Der Rahmen des Chassis

Der Rahmen des Chassis wird aus der Frontplatte und den beiden Seitenteilen zusammengesetzt (Bild 299). Wir beginnen den Zusammenbau mit dem Anschluß der Litzen von Schalter S_1.

() Die lange Anschlußlitze $S_1\ominus$ am Seitenteil A mit dem Verbindungsdraht vom Minus-Kontakt unter die Schraube bei 3 legen und die Schraube fest anziehen.

() Die Anschlußlitze $S_1\oplus$ am Seitenteil B mit dem Verbindungsdraht vom Plus-Kontakt unter die Schraube bei 3 legen und die Schraube fest anziehen.

() Seitenteil A aufrichten und die Frontplatte in die Rille an der Stirnseite einsetzen. Die beiden Berührungstasten müssen sich jetzt neben diesem Seitenteil befinden.

() Seitenteil B aufrichten und die Frontplatte in die Rille an der Stirnseite einsetzen. Auf dieser Seite befindet sich der Lautsprecher neben dem Seitenteil.

65. Zusammenbau von Aufbauplatten und Chassisrahmen

Falls die Aufbauplatten noch nicht zusammengesteckt sind, Kapitel 60 lesen.

() Aufbauplatten so auf den Tisch stellen, daß man die Zahlen lesen kann.

() Den Chassisrahmen von oben über die Aufbauplatten setzen. Die Köpfe der Senkblechschrauben müssen in die Randrillen greifen, wie in Kapitel 63.4 beschrieben (Bild 300).

Wichtig!

Soll anstelle von Batterien das Netzgerät KOSMOTRON (Bestell.-Nr. 663011) verwendet werden, wird der Anschluß wie folgt vorgenommen:

- **die rote Leitung vom KOSMOTRON wird an der Kontaktschraube (Nr. 3, Seitenteil B) angeschlossen**
- **die schwarze Leitung wird anstelle der Kegelfeder im Seitenteil A angeschlossen**
- **die braune Leitung wird als 0-Volt-Anschluß nach den jeweiligen Aufbaubildern angeschlossen**

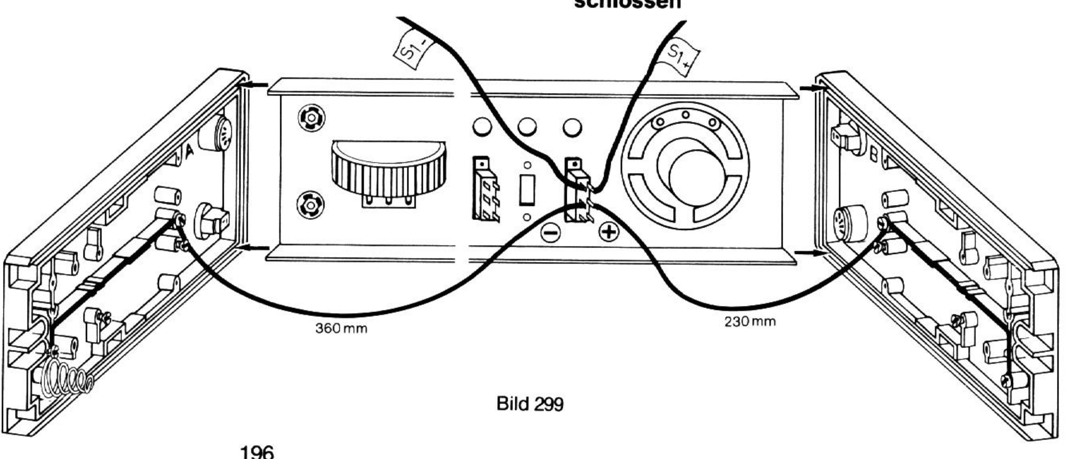


Bild 299

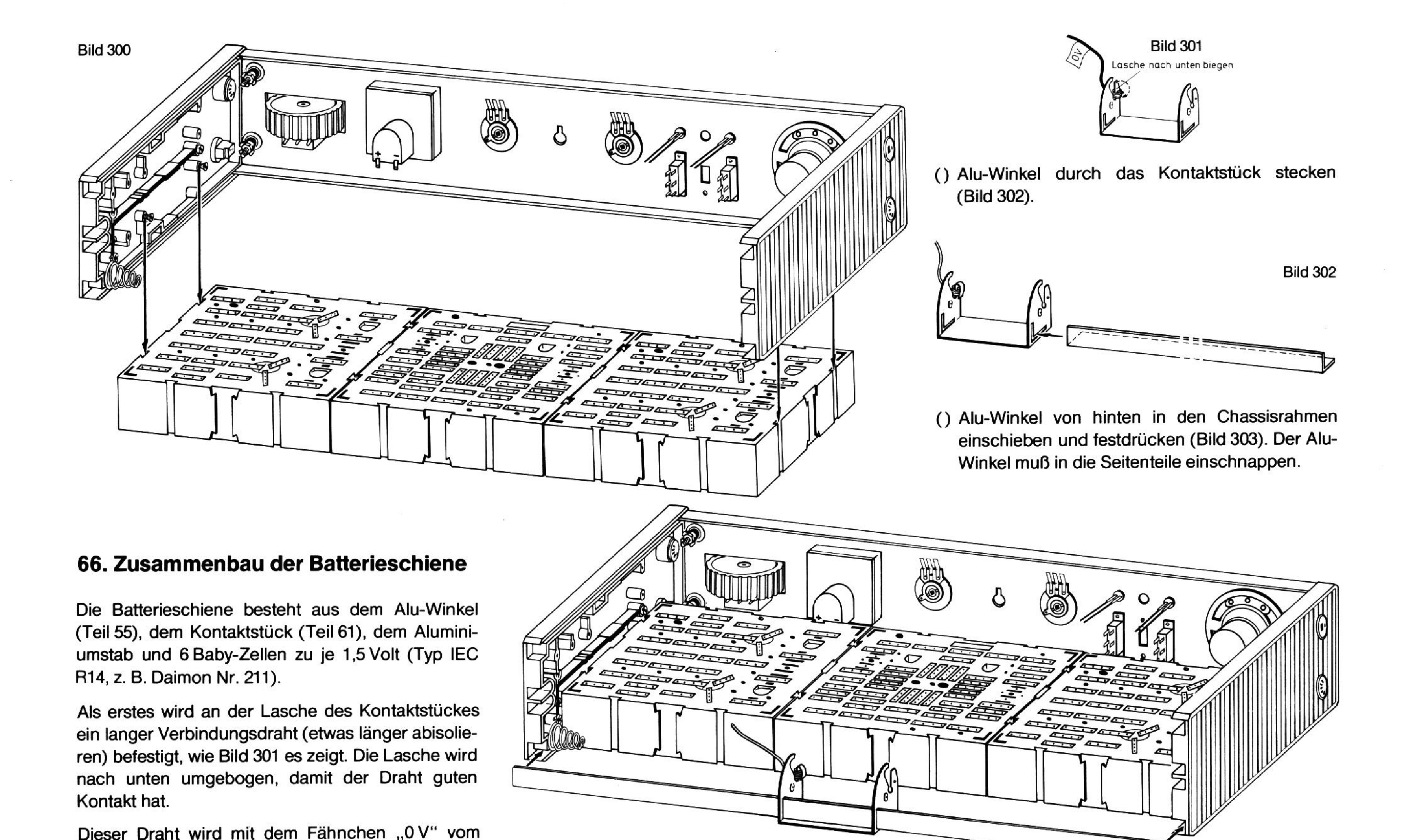


Bild 300

Bild 301

() Alu-Winkel durch das Kontaktstück stecken (Bild 302).

Bild 302

() Alu-Winkel von hinten in den Chassisrahmen einschieben und festdrücken (Bild 303). Der Alu-Winkel muß in die Seitenteile einschnappen.

66. Zusammenbau der Batterieschiene

Die Batterieschiene besteht aus dem Alu-Winkel (Teil 55), dem Kontaktstück (Teil 61), dem Aluminiumstab und 6 Baby-Zellen zu je 1,5 Volt (Typ IEC R14, z. B. Daimon Nr. 211).

Als erstes wird an der Lasche des Kontaktstückes ein langer Verbindungsdraht (etwas länger abisolieren) befestigt, wie Bild 301 es zeigt. Die Lasche wird nach unten umgebogen, damit der Draht guten Kontakt hat.

Dieser Draht wird mit dem Fähnchen „0 V“ vom Aufklebebogen gekennzeichnet.

Bild 303

66.1 Einsetzen der Batterien

() Kontaktstück auf dem Alu-Winkel in die Mitte rücken. Es dient als Verbindung zwischen zwei Batterieschlangen von je 3 Baby-Zellen.

() Je ein Batterie-Lageschild rechts und links neben das Kontaktstück in den Alu-Winkel kleben, und zwar so, daß das Minus-Zeichen des einen Schildes auf der Seite der Kegelfeder und das Plus-Zeichen des anderen Schildes bei der Schraube des Plus-Kontaktes ist.

() 3 Baby-Zellen (Typ IEC R14 zu je 1,5 V, z. B. Daimon Nr. 211 Allkraft, auslaufsicher) so in die linke Hälfte des Alu-Winkels legen, wie Bild 304 es zeigt. Der Minus-Pol der ersten Batterie drückt gegen die Kegelfeder, der Plus-Pol der dritten Batterie berührt das Kontaktstück. Diese Batterieschlange heißt U_{B2}. Das Schild U_{B2} vom Aufklebebogen wird auf die Rückseite des Alu-Winkels neben den Minus-Kontakt (Kegelfeder) geklebt.

() Weitere drei Baby-Zellen in die rechte Hälfte des Alu-Winkels legen. Der Minus-Pol der ersten Batterie berührt das Kontaktstück, der Plus-Pol der dritten Batterie die Schraube des Plus-Kontaktes. Diese Batterieschlange heißt U_{B1}. Das Schild U_{B1} vom Aufklebebogen auf die Rückseite des Alu-Winkels neben den Plus-Kontakt kleben.

Bild 304

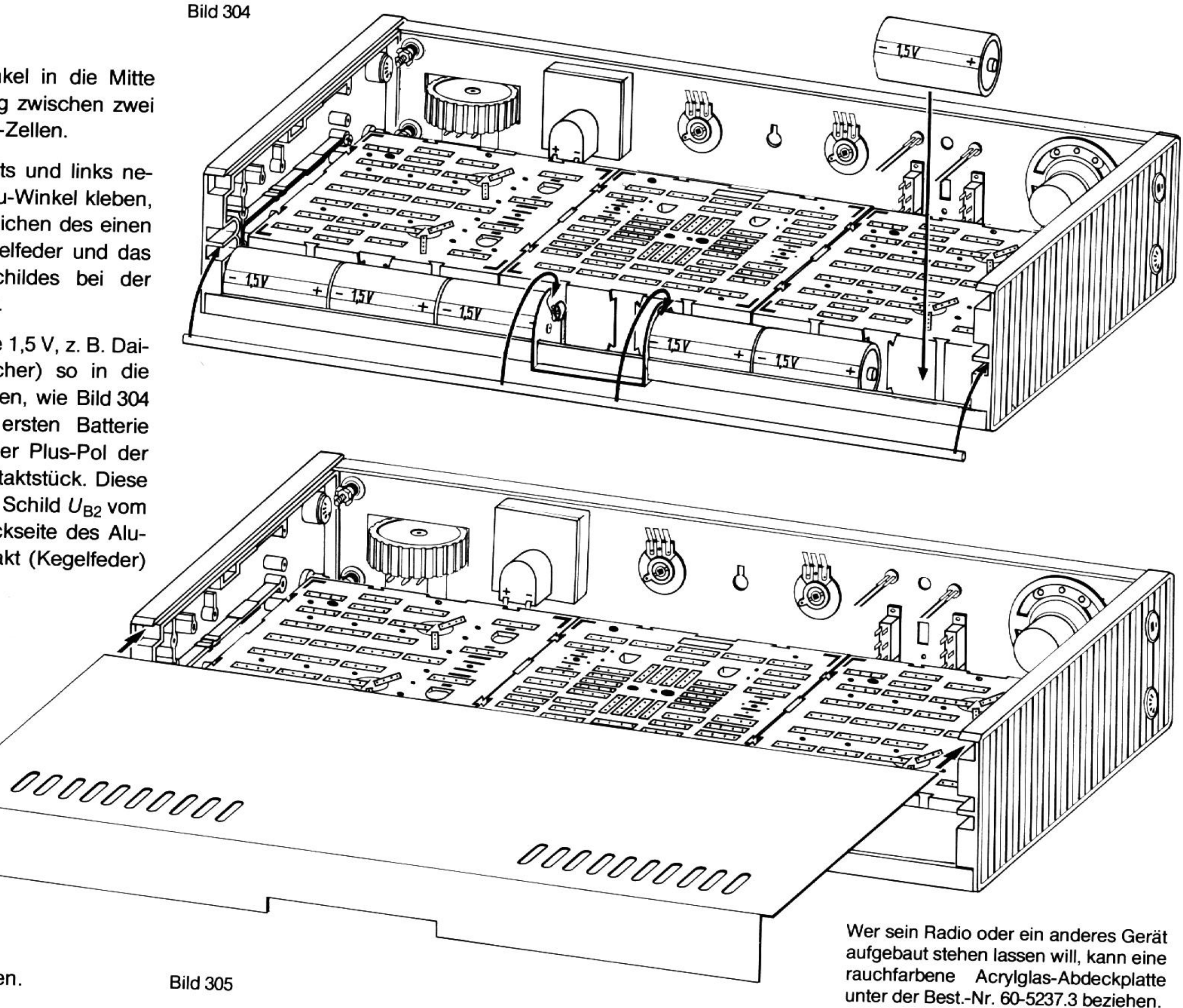


Bild 305

Wer sein Radio oder ein anderes Gerät aufgebaut stehen lassen will, kann eine rauchfarbene Acrylglas-Abdeckplatte unter der Best.-Nr. 60-5237.3 beziehen.

Damit die Batterien nicht aus dem Alu-Winkel fallen, wird der Aluminiumstab (Teil 54) in die Kerben bei 15 (linke Seite) und 14 (rechte Seite) gesetzt. Der Aluminiumstab muß in die vorderen Kerben des Kontaktstückes einschnappen.

67. Die Abdeckplatte

Auf das fertige Gerät wird die Abdeckplatte (Teil 52) geschoben, wie Bild 305 es zeigt. Der hintere Steg schnappt an den Seiten unter die Nocken der Seitenteile.

68. Elektroden und Taster

Als Elektroden werden zwei Zinkblechstreifen (Teil 68) und ein Kupferblechstreifen (Teil 67) verwendet. Bild 306 zeigt, wie eine Elektrode an einem langen Verbindungsdraht befestigt wird. Wichtig ist, daß das Metall Verbindung mit dem blanken Drahtende hat. Das andere Drahtende wird in die Aufbauplatte gesteckt, wie in den entsprechenden Schaltungen angegeben.

Der Taster (Teil 70) wird in den Schlitz neben einer

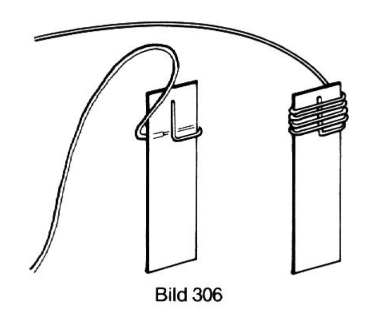


Bild 306

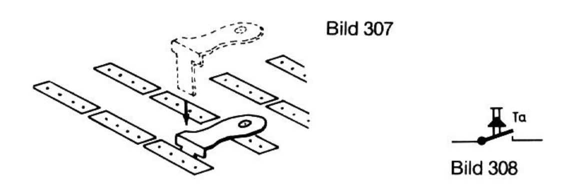


Bild 307

Bild 308

Steckfeder gesteckt, wie Bild 307 es zeigt. Beim Niederdrücken berührt er die nächste Steckfeder, wodurch zwei Steckfedern leitend miteinander verbunden werden. Das Schaltbild zeigt Bild 308. Der nach oben zeigende Pfeil deutet an, daß der Taster unterbricht, wenn man ihn losläßt.

69. Wickeln von Spulen

Zum Wickeln von Spulen wird der Wicklungsdraht

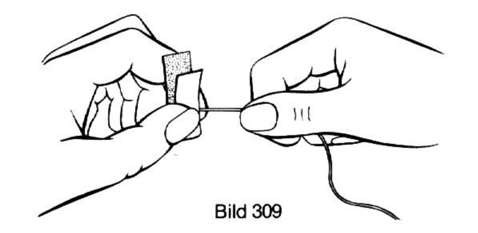


Bild 309

(Teil 11) verwendet. Er heißt „0,3 CuL“, was bedeutet, daß er einen Durchmesser von 0,3 mm (ohne Isolierschicht) hat, aus Kupfer besteht und mit Lack isoliert ist.

Die Isolierschicht muß an den Anschlußstellen mit Schleifpapier (Teil 72) entfernt werden, weil sonst die Gefahr besteht, daß es keinen Kontakt gibt (Bild 309).

Die Spulen müssen sehr sorgfältig im angegebenen Wickelsinn gewickelt werden, weil sonst der gewünschte Erfolg nicht gewährleistet ist. Spulen dürfen nur so fest gewickelt werden, daß der Kern sich noch verschieben läßt.

Es ist günstig, bei der Arbeit einen Bleistift oder Kugelschreiber in die Rolle des Wicklungsdrahtes zu stecken, damit der Draht nicht von der Rolle fallen und sich verwirren kann.

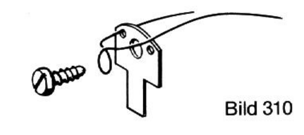
Drahtverbrauch für Spulen, Antenne und Erde:

MW-Spule	4,45 m
KW-Spule	2,00 m
Schwebungssummer	2,45 m
Trafo	12,05 m
Antenne	6,00 m
Erde	4,00 m

Es bleiben 1 bis 2 Meter übrig. Darum ist es vorteilhaft, sich beim Wickeln der Spule und dem Anbringen von Antenne und Erde an die folgenden Anweisungen zu halten.

Die einfachen Anschlußdrähte der Spulen sind für die Löcher der Steckfedern zu dünn. Es besteht die Gefahr, daß sie keinen guten Kontakt machen oder die Isolation in die Löcher rutscht. Deshalb biegt man die Drahtenden etwas nach oben um und verdrillt das Ende. Will man eine Schaltung, zum Beispiel ein Radio, längere Zeit stehen lassen, befestigt man Anschlußbleche (Teil 64) an den Drähten, wie Bild 310 es zeigt. Die Anschlußbleche werden neben die Steckfedern gesteckt (Bild 311).

Fertige Spulen mit Ferritstab werden oberhalb von



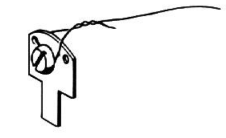


Bild 310

Nummer 6 oder Nummer 7 in die Seitenteile eingesetzt, wie Bild 312 es zeigt. Wenn der Ferritstab nicht fest in der Öffnung sitzt, muß man einen Streifen Pappe vom Ausschneidebogen mit einklemmen.

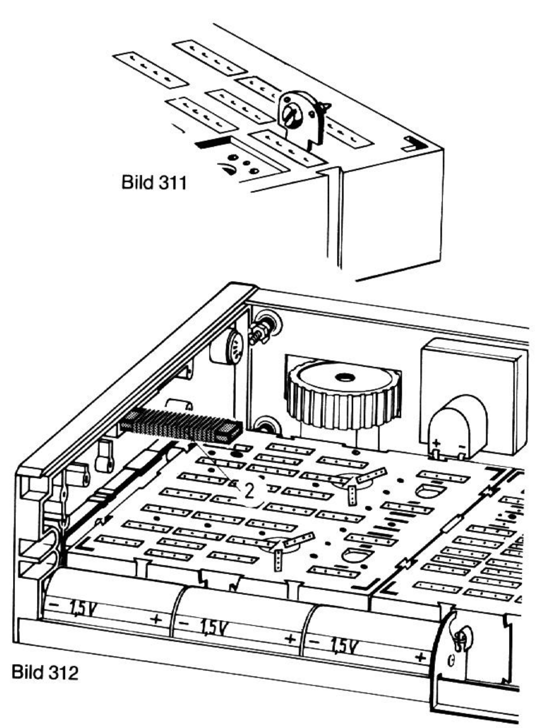


Bild 311

Bild 312

69.1 Wickeln der MW-Spule

() Vom Ausschneidebogen den Wickelkörper „MW-Spule" ausschneiden (Bild 313).

() Die gestrichelten Linien am Lineal entlang mit scharfem Messer leicht anritzen.

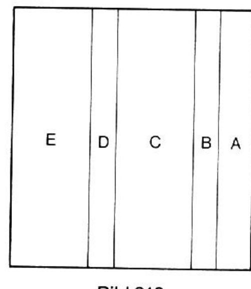


Bild 313

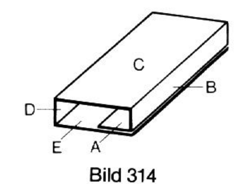


Bild 314

Bild 315

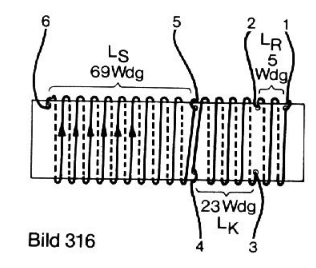


Bild 316

() Karton so falten, daß die geritzten Linien außen sind.

() Abschnitt A innen gegen Abschnitt E kleben (Bild 314). Ferritstab (Teil 2) in den Wickelkörper einführen und Karton gegendrücken, bis die Klebestelle getrocknet ist.

() Löcher 1–6 mit Stecknadel einstechen (Bild 315). 1 bis 6 sind Anschlußbezeichnungen. Bild 316 zeigt das Wickelschema der MW-Spule mit den Anschlüssen 1–6. Alle Anschlußenden sind 100 mm lang und müssen mit dem Schleifpapier (Teil 12) 20 mm lang abisoliert werden (Bild 309).

Der Wickelsinn darf während des Wickelns nicht geändert werden.

() Bei 6 den Anfang des Wicklungsdrahtes (Teil 11) einfädeln und festlegen (Bild 317). Beim Wickeln den Ferritstab als Haltekern benutzen (Bild 318).

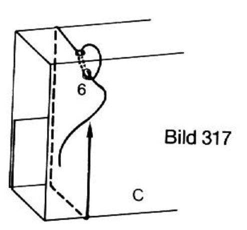


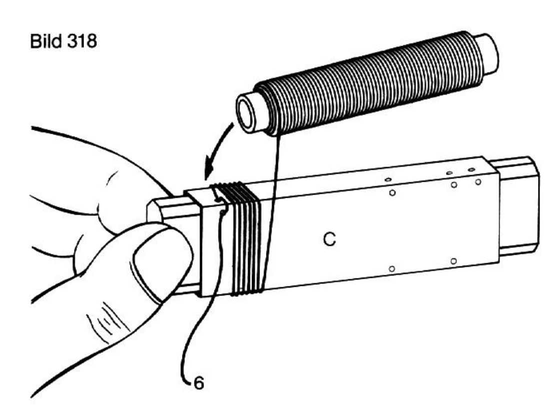
Bild 317

() Sauber Windung neben Windung legen und 69 Windungen bis Punkt 5 wickeln.

() Bei 5 Drahtende 100 mm überstehen lassen, festlegen und abisolieren.

() Bei 4 neuen Anfang (100 mm) einfädeln, festlegen und abisolieren.

Bild 318



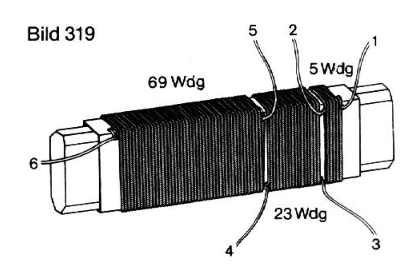
() Im selben Wicklungssinn wie vorher 23 Windungen bis Punkt 3 wickeln. Ende 100 mm überstehen lassen, bei 3 festlegen und abisolieren.

() Bei 2 neuen Anfang (100 mm) einfädeln, festlegen und abisolieren.

() Im selben Wickelsinn wie vorher 5 Windungen bis 1 wickeln. Bei Punkt 1 Ende 100 mm überstehen lassen, festlegen und abisolieren.

() Alle Anschlußenden mit Fähnchen 1–6 vom Aufklebebogen nach der Numerierung auf dem Wickelkörper versehen.

Bild 319



Der Ferritstab muß so eingesteckt werden, daß er bei Anschluß 1 etwa 7–8 mm heraussteht.

Bild 319 zeigt die fertige MW-Spule mit eingeschobenem Ferritstab.

Bild 320 zeigt das Schaltzeichen der MW-Spule, Bild 321 die Aufbaudarstellung.

Bild 320

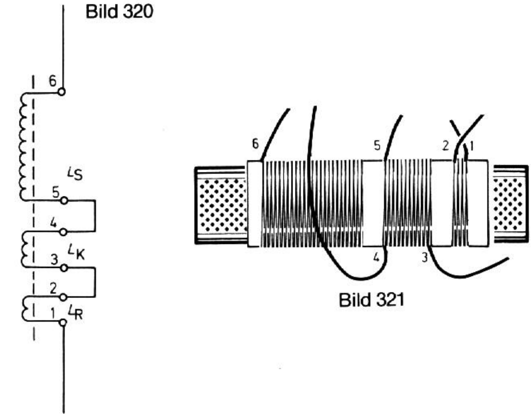


Bild 321

69.2 Wickeln der Spule für Schwebungssummer

() Vom Ausschneidebogen den Wickelkörper „Schwebungssummer" ausschneiden und herrichten, wie für den Wickelkörper MW-Spule in Kapitel 69.1 beschrieben.

() Löcher 7 und 8 mit Stecknadel einstechen (Bild 322).

Bild 323 zeigt das Wickelschema der Spule für Schwebungssummer mit den Anschlüssen 7 und 8.

Bild 322

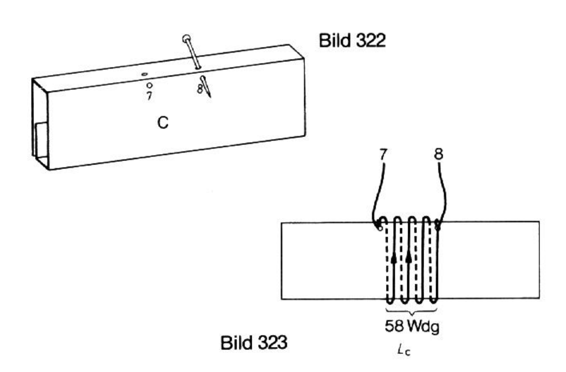


Bild 323

Beide Enden sind 100 mm lang und müssen 20 mm lang abisoliert werden (Bild 309).

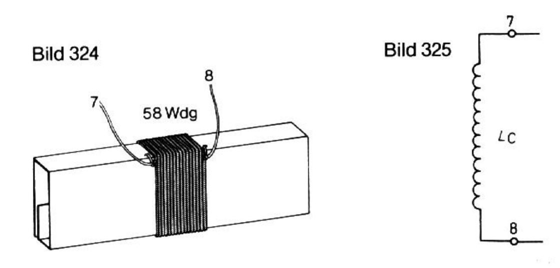
Der Wickelsinn darf während des Wickelns nicht geändert werden.

() Bei 7 den Anfang des Wickeldrahts einfädeln, festlegen und abisolieren (Bild 317). Beim Wickeln den Ferritstab als Haltekern benutzen (Bild 318).

() Zwischen den Anschlüssen 7 und 8 werden 58 Windungen dicht übereinander gewickelt.

() Bei 8 Drahtende 100 mm überstehen lassen, festlegen und abisolieren.

Bild 324 Bild 325





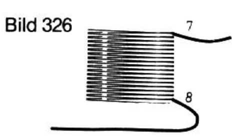


Bild 326

() Anschlußenden mit den Fähnchen 7 und 8 vom Aufklebebogen nach der Numerierung auf dem Wickelkörper versehen.

Bild 324 zeigt die fertige Spule für den Schwebungssummer. Diese Spule wird ohne Ferritstab verwendet.

Bild 325 zeigt das Schaltzeichen, Bild 326 die Aufbaudarstellung der Spule für Schwebungssummer.

69.3 Wickeln des Trafos für Wechselstromversuche

() Vom Ausschneidebogen den Wickelkörper „Transformator" ausschneiden und herrichten, wie für den Wickelkörper MW-Spule in Kapitel 69.1 beschrieben.
() Löcher 9–12 b einstechen (Bild 327).

Bild 328 zeigt das Wickelschema der Wicklung zwischen 11 und 12 (Spule w).

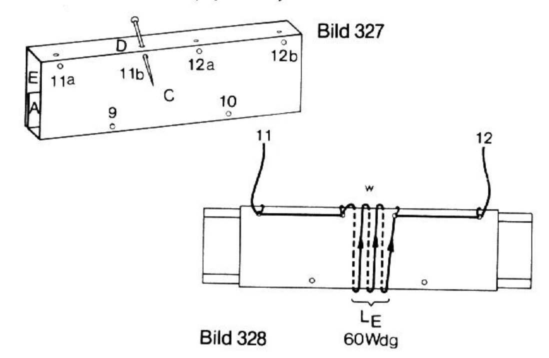


Bild 327

Bild 328

Der Wickelsinn darf während des Wickelns nicht geändert werden.

() 120 mm langen Anfang bei 11 b einfädeln und zu 11 a führen. Bei 11 a festlegen und abisolieren. Der Anschluß muß eine Länge von 100 mm haben.

() Bei 11 b mit dem Wickeln beginnen und bis 12 a 60 Windungen aufbringen.

() Bei 12 a Wickelende 120 mm überstehen lassen, durchfädeln und zu 12 b führen, festlegen und abisolieren. Dieser Anschluß muß 100 mm lang sein.

Über diese erste Spule w muß eine zweite Spule, die aus den Einzelteilen x, y und z besteht, wie folgt gewickelt werden.

Die Bilder 329 und 330 zeigen die Wickelschemata.

() 100 mm langen Anfang bei 9 einfädeln, festlegen und abisolieren.

() Links neben die Spule w im gleichen Wickelsinn wie bisher einen Wulst von 30 Windungen (x) wickeln.

() Draht nach rechts führen und hier einen zweiten Wulst von 30 Windungen (y) wickeln.

() Über die drei Wülste w, x und y 150 Windungen (z) wickeln. Dadurch wird die Spule w ganz in die Spule 9–10 eingebettet (Bild 331).

() Anschlußenden mit den Fähnchen 9–12 vom Aufklebebogen nach der Numerierung auf dem Wickelkörper versehen (11 a = 11 und 12 b = 12).

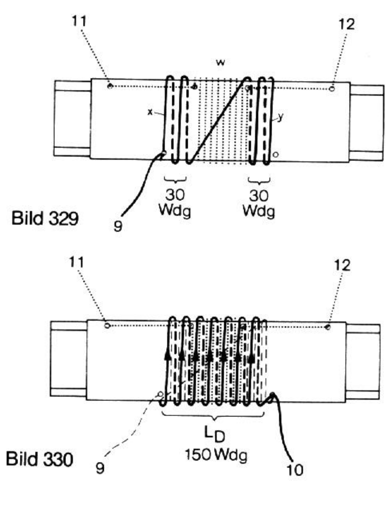


Bild 329

Bild 330

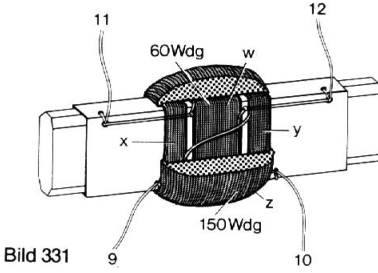


Bild 331

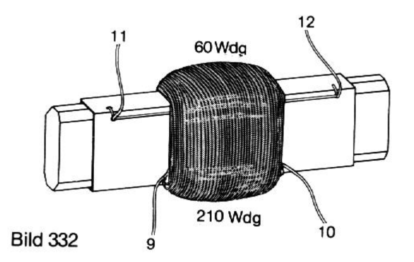


Bild 332

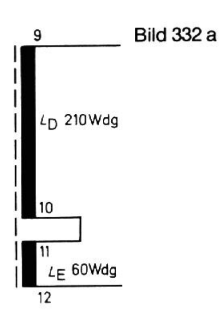


Bild 332 zeigt den fertigen Trafo mit Ferritstab und Bild 332 a das Schaltbild.

69.4 Wickeln der KW-Spule

() Vom Ausschneidebogen den Wickelkörper „KW-Spule" ausschneiden und herrichten, wie für den Wickelkörper MW-Spule in Kapitel 69.1 beschrieben.

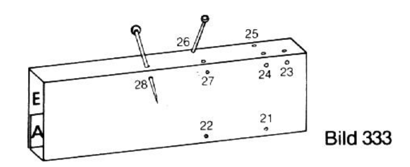


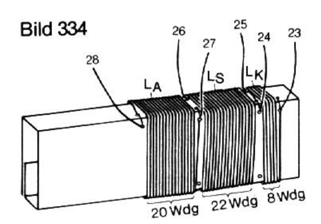
Bild 333

() Löcher 21–28 einstechen (Bild 333). Achtung: Bei dieser Spule befinden sich die Löcher 25 und 26 auf den Abschnitten D und E.

Die Spule wird in zwei Arbeitsgängen gewickelt: Zuerst werden drei Wicklungen aufgebracht, später kommt eine vierte Wicklung oben darauf.

Bild 334 zeigt das Wickelschema der unteren Wicklungen. Der Wickelsinn darf während des Wickelns nicht geändert werden.

Bild 334



() 100 mm langen Anfang bei 28 einfädeln, festlegen und abisolieren. Beim Wickeln den Ferritstab als Haltekern benutzen.

() Zwischen den Anschlüssen 28 und 27 zwanzig Windungen eng nebeneinander wickeln.

() Bei 27 Drahtende 100 mm überstehen lassen, festlegen und abisolieren.

() Nächsten Anfang bei 26 einfädeln, festlegen und abisolieren.

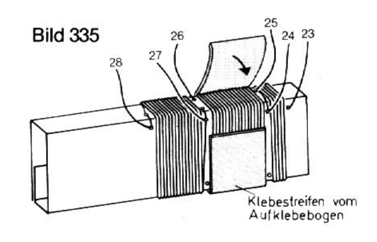
() Bis 25 zweiundzwanzig Windungen eng nebeneinander wickeln. Achtung: Wickelsinn beachten.

() Bei 25 Drahtende 100 mm überstehen lassen, festlegen und abisolieren.

() Neuen Anfang bei 24 einfädeln, festlegen und abisolieren.

() Bis 23 acht Windungen nebeneinander wickeln.

Bild 335

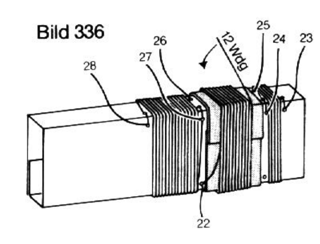


() Bei 23 Drahtende 100 mm überstehen lassen, festlegen und abisolieren.

() Klebestreifen „KW-Spule" vom Aufklebebogen über die Wicklung zwischen 26 und 25 kleben. Die beiden Löcher bei 22 und 21 müssen frei bleiben (Bild 335).

() 100 mm langen Anfang bei 22 einfädeln, festlegen und abisolieren (Bild 336).

Bild 336

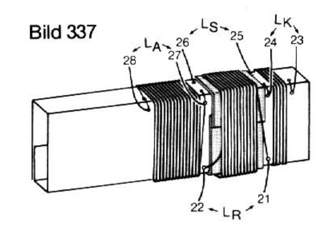


() Bis 21 zwölf Windungen auf den Klebestreifen nebeneinander wickeln.

Bei 21 Drahtende 100 mm überstehen lassen, festlegen und abisolieren.

Bild 337 zeigt die fertige Spule mit allen Anschlüssen und Bezeichnungen. Die Anschlußenden mit den Fähnchen 21–28 vom Aufklebebogen und mit Anschlußblechen versehen. Da die Spule ohne Ferritstab benutzt wird, muß er herausgezogen wer-

Bild 337



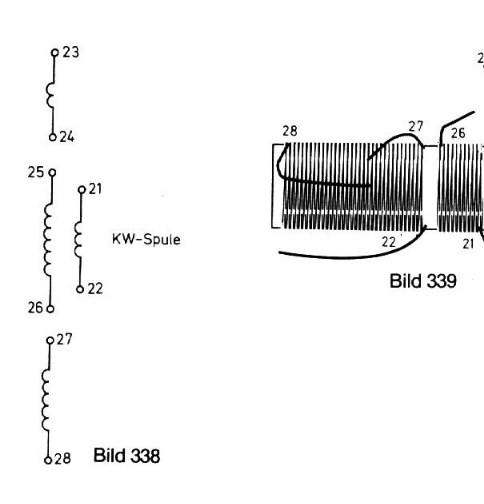


Bild 338

Bild 339

den, bevor die Spule in das Seitenteil A gesteckt wird.

Bild 338 zeigt das Schaltbild, Bild 339 die Aufbaudarstellung der KW-Spule.

70. Antenne und Erdleitung

Für manche Radioschaltungen sind Antenne und Erdleitung erforderlich.

Achtung! Auf keinen Fall darf man das elektrische Netz oder eine Telefonleitung zur Erdung oder als Antenne benutzen. Beides ist gefährlich!

70.1 Antenne

Die Zimmerantenne muß eine optimale Länge von 6 m haben und L-förmig über Kopfhöhe im Zimmer ausgespannt werden (Bild 340).

() Entsprechend langes Stück vom Wicklungsdraht (Teil 11) abschneiden.

() Das Drahtende, das in das Gerät gesteckt werden soll, wird 20 mm lang abisoliert und das Fähnchen mit dem Schaltzeichen Antenne vom Aufklebebogen daran befestigt.

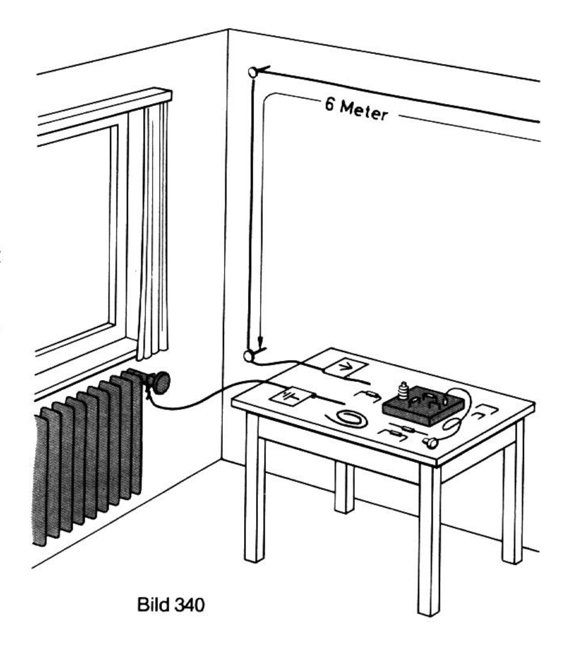
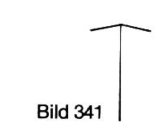


Bild 340

Der Antennendraht darf nicht aus dem Fenster gehängt werden, weil Außenantennen einen Blitzschutz brauchen.

Das Schaltzeichen für Antenne zeigt Bild 341.

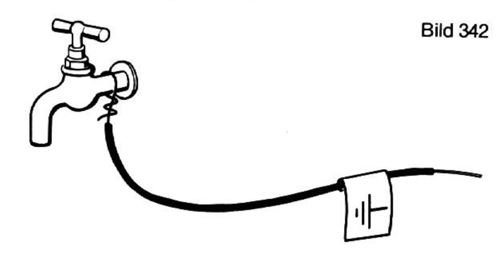

Bild 341

70.2 Erdleitung

() Die Erdleitung mit einer maximalen Länge von 4 m muß von der Aufbauplatte zum nächsten Erdungspunkt – Wasserhahn oder Zentralheizung – geführt werden. Entsprechend langes Stück vom Wicklungsdraht abschneiden.

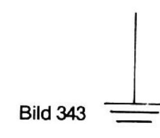
() Das eine Ende 50 mm lang, das andere Ende 20 mm lang abisolieren.

() Das lange Ende unter die Ventilschraube der Zentralheizung klemmen oder um ein blankes Metallteil des Wasserhahns (darf nicht angemalt sein) knoten (Bild 342).


Bild 342

An dem kurz abisolierten Ende Fähnchen mit Schaltzeichen Erde befestigen.

Das Schaltzeichen für Erde zeigt Bild 343.


Bild 343

Teil IV. Kleine Materialkunde

71. Widerstände

Als Teile 27 bis 38 und 43 bis 47 liegen 20 verschiedene Widerstände in unserem Kasten. Ihr Widerstandswert wird in Ohm angegeben, was mit dem griechischen Großbuchstaben Omega (Ω) abgekürzt wird. Zur Vereinfachung schreibt man für 1000 Ohm = 1 kΩ, und 1 Million Ohm kürzt man 1 MΩ ab. MΩ bedeutet Mega-Ohm, wird aber einfach „Meg-Ohm" gesprochen.

Wer Widerstände im Fachhandel nachkaufen will, sollte darauf achten, daß sie eine Toleranz von höchstens 10% haben. Die Belastbarkeit in Watt ist für jeden Widerstandswert in der Teileliste auf Seite 185 angegeben.

Aussehen, Schaltzeichen und Aufbaudarstellung für Widerstände zeigt Bild 344. Das *R* neben dem Schaltzeichen kommt von dem englischen resistance = Widerstand.

Die Widerstände müssen gebogen werden wie lange Drahtbrücken (siehe Kapitel 62).

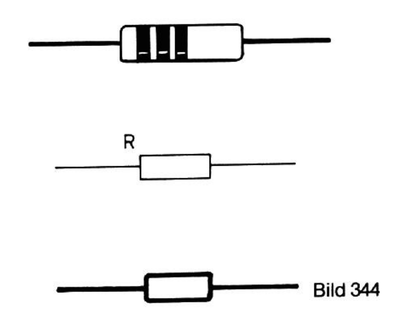
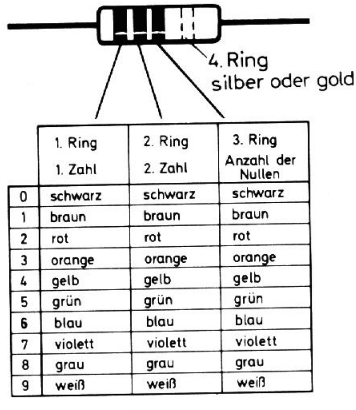


Bild 344

An den Anschlußdrähten können Leimrückstände vom Gurt haften, die entfernt werden müssen, weil die Widerstände später sonst keinen Kontakt haben.

71.1 Farbcode und Bezeichnung für Widerstände



	1. Ring 1. Zahl	2. Ring 2. Zahl	3. Ring Anzahl der Nullen
0	schwarz	schwarz	schwarz
1	braun	braun	braun
2	rot	rot	rot
3	orange	orange	orange
4	gelb	gelb	gelb
5	grün	grün	grün
6	blau	blau	blau
7	violett	violett	violett
8	grau	grau	grau
9	weiß	weiß	weiß

Bild 345

Der Ohmwert eines Widerstandes ist nicht in Zahlen, sondern in Form von Farbringen angegeben. Jede Farbe bedeutet eine Ziffer.

Wie die Farbringe als Zahlen gelesen werden, zeigt Bild 345 (beachte auch die Rückseite dieses Buches und die Ausschneidetafel, auf denen ein Widerstandsrechner zum Ausschneiden aufgedruckt ist). Während die ersten beiden Ringe einfache Ziffernsymbole sind, gibt der dritte Ring die Anzahl der Nullen an. So bedeutet schwarz zum Beispiel keine Null und blau sechs Nullen. Der vierte Ring, der Toleranzring, gibt an, um wieviel Prozent der Ohmwert nach oben oder unten abweichen darf. Ein goldener Ring bedeutet 5%, ein silberner Ring 10% Abweichung.

Zu beachten ist, daß auf Widerstandstabellen grün gn abgekürzt wird; gr bedeutet grau.

Sobald ein Ohmwert einwandfrei bestimmt ist, wird der Widerstand mit einem Fähnchen vom Aufklebebogen gekennzeichnet.

Bei künstlichem Licht sind die Farbringe leicht zu verwechseln. Man kann sich helfen, wenn man eine Lupe zu Hilfe nimmt, weil bei größeren Flächen die Farbe leichter zu identifizieren ist.

Bei der Kennzeichnung der Widerstände ist zu beachten, daß folgende Werte leicht miteinander zu verwechseln sind: 680 Ω und 680 kΩ; 3,3 kΩ, 330 kΩ und 22 kΩ; 1,2 Ω (der dritte Ring ist golden), 12 Ω und 120 Ω; 82 Ω, 8,2 kΩ und 82 kΩ; 100 kΩ und 1 MΩ. Bei diesen letzten Werten muß berücksichtigt werden, daß der zweite Ring schon eine Null symbolisiert.

Wenn die Werte nicht richtig bestimmt werden und falsche Widerstände eingebaut werden, funktionieren die Schaltungen nicht und andere Bauteile, z. B. Transistoren, können kaputt gehen.

71.2 Die Toleranz der Widerstände

Der vierte Ring heißt „Toleranzring“, weil er angibt, wie genau der Ohmwert der drei Farbringe eingehalten ist. Ein silberner Ring bedeutet, daß der Ohmwert um 10% nach oben oder unten abweichen kann. Bei einem goldenen Ring darf der Wert nur um 5% vom angegebenen Wert abweichen.

Bei einer Toleranz von 10% kann man den Bereich von 10–100 in zwölf Teilbereiche zerlegen und die Widerstandswerte so wählen, daß die Toleranzbereiche lückenlos aneinander passen.

Es ergibt sich folgende Widerstandsreihe 10, 12, 15, 18, 22, 27, 33, 39, 47, 56, 68 und 82. Nach oben folgt die Reihe, die mit 100 beginnt und über 120, 150 bis 820 reicht. Darüber kommen die Kilo-Ohm-Werte.

72. Die Transistoren

Aus einer Vielzahl von Transistortypen haben wir für diesen Kasten die geeignetsten ausgesucht, und zwar zwei npn-Transistoren BC 238 C, gleichwertig mit BC 583 C (Teil 15) und einen pnp-Transistor BC 308 C, gleichwertig mit BC 513 C oder BC 559 (Teil 14). pnp- und npn-Typen müssen sorgfältig auseinandergehalten werden, weil sie verschiedene Funktionen haben. Erkennen kann man sie an den Typenbezeichnungen auf der abgeflachten Seite des Transistorkörpers (Bild 346).

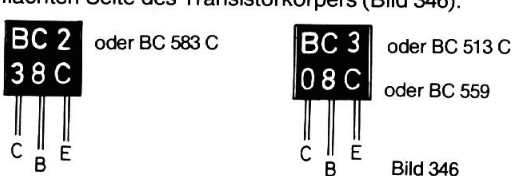
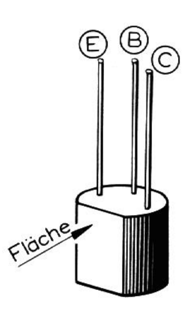


Bild 346

Da die beiden Typen niemals verwechselt werden dürfen, wird der pnp-Transistor als erstes mit einem weißen halbkreisförmigen Etikett vom Aufklebebogen gekennzeichnet. An dieser weißen Markierung ist der pnp-Transistor auch auf den Aufbauzeichnungen zu erkennen (siehe auch Bild 350).



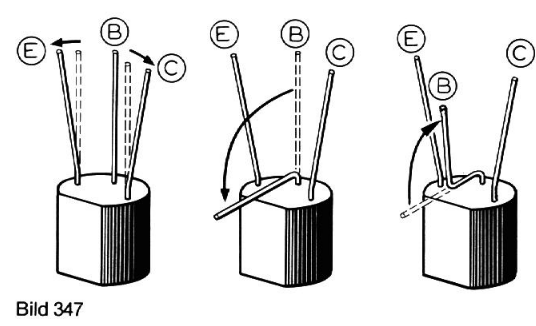


Bild 347

72.1 Die Anschlüsse des Transistors

Die drei Anschlüsse eines Transistors heißen Kollektor (C), Basis (B) und Emitter (E) und müssen vor Gebrauch zurechtgebogen werden, wie Bild 347 es zeigt.

Falls sie schwarz angelaufen sind, reibt man sie mit einem weichen Tuch blank. Der fertig gebogene Transistor (Bild 348) wird in die sternförmig angeordneten Steckfedern einer Aufbauplatte gesetzt, zum Beispiel in St 280, St 27 und St 281 der Aufbauplatte E (Bild 349). Es ist wichtig, darauf zu achten, daß die abgeflachte Seite des Transistorkörpers mit der Basis dem eingeprägten Querstrich bei St 27 zugewandt sein muß. Wenn Transistoren anders eingesteckt werden, gehen sie kaputt. Bild 350 zeigt links einen npn-Transistor und rechts einen pnp-Transistor mit weißer Markierung in den Steckfedern der Aufbauplatte E. Weitere Möglichkeiten ergeben sich aus den Aufbaubildern.

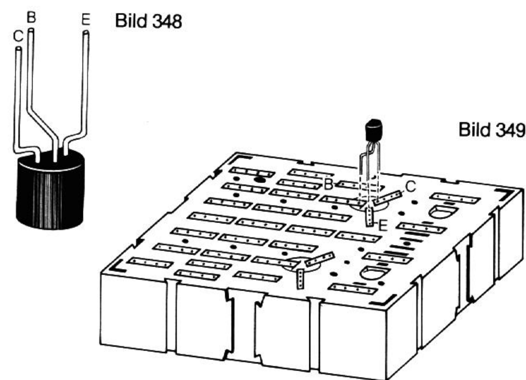


Bild 348

Bild 349

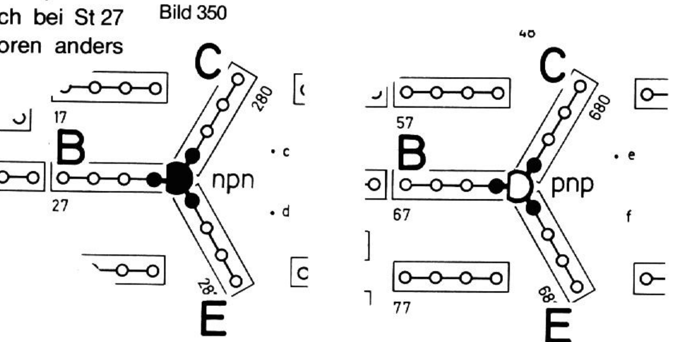


Bild 350

72.2 Schaltbild des Transistors

Bild 351 zeigt das Schaltbild des npn-Transistors. Den Basis-Anschluß erkennt man an dem Querstrich, den Emitter-Anschluß an dem Pfeil, der bei diesem Typ von der Basis wegweist.

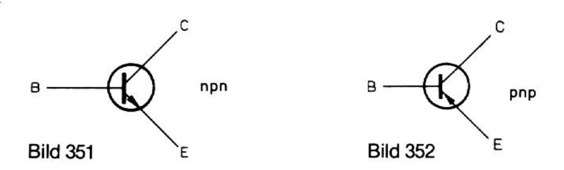


Bild 351 Bild 352

Bei dem pnp-Transistor (Schaltbild 352) zeigt der Pfeil beim Emitter-Anschluß auf die Basis. Das bedeutet, daß er in entgegengesetzter Richtung vom Strom durchflossen wird wie ein npn-Transistor.

72.3 Belastbarkeit des Transistors

Die Buchstaben npn und pnp geben Auskunft über die Art der Siliziumschichten und ihre Reihenfolge im Inneren eines Transistors. Diese Schichten sind unter Hitzeeinwirkung „legiert" und beginnen bei Temperaturen von mehr als 150° weich zu werden und ineinanderzulaufen. Der Transistor ist dann „durchgebrannt".

Mehr als 100 mA sollten weder über den Emitter- noch über den Kollektor-Anschluß fließen, dem Basis-Anschluß sollten sogar nicht mehr als 10 mA zugeführt werden. Damit der Transistor sich nicht zu stark erhitzt, sollte er nicht mehr als 225 mW an Leistung aufnehmen.

Die Schaltungen in diesem Buch sind alle so berechnet, daß die Transistoren nicht durchbrennen können. Allerdings darf man Schaltungen, die für 4,5 V Betriebsspannung gedacht sind, nicht an 9 V anlegen, schon bei geringer Überlastung gibt der Transistor seinen Dienst auf, ohne daß man es sieht.

Wenn man merkt, daß ein Transistor heiß wird, muß die Batterie sofort abgeschaltet und der Schaltfehler gesucht werden. Mit der Transistor-Prüfschaltung (Kapitel 17.1) kann man feststellen, ob ein Transistor noch funktionsfähig ist.

73. Das Schaltbild

In unserem Experimentierbuch bringen wir zu jeder Schaltung zwei verschiedene Abbildungen, und zwar Aufbaubild und Schaltbild. Das Aufbaubild erleichtert den Aufbau und zeigt, wie die Teile und Leitungen auf dem Chassis angeordnet sind. Das Schaltbild zeigt in vereinfachter Form, welche Teile zusammengeschaltet sind, und nimmt dabei keine Rücksicht auf deren räumliche Lage. Es dient der leichteren Funktionserklärung. Übrigens werden Schaltbilder in der Fachliteratur gelegentlich auch Stromlaufpläne genannt, obwohl sie auch Leitungen enthalten, in denen kein Strom fließt.

Auf der Buchrückseite ist eine Zusammenstellung aller Schaltzeichen, die in diesem Buch vorkommen. Wir wollen uns einige davon stellvertretend für alle anderen genauer ansehen. Im übrigen ist jedes Schaltzeichen dort erwähnt, wo das Schaltelement, zu dem es gehört, beschrieben ist.

Im Schaltbild werden Leitungen durch einfache Striche dargestellt. Kreuzen sich zwei Leitungen, ohne daß sie leitende Verbindung miteinander haben, wird das als einfaches Kreuz dargestellt (Bild 353).



Bild 353 Bild 354 Bild 355

Eine Leitungsabzweigung ist durch einen Punkt mit der eigentlichen Leitung verbunden (Bild 354). Der Punkt stellt die leitende Verbindung dar.

Ein Kreuz mit einem Punkt ist demnach eine Leitungskreuzung mit leitender Verbindung bzw. eine Leitung, von der an einer Stelle nach beiden Seiten hin Abzweigungen wegführen (Bild 355).

U_B + − 4,5 oder 9V

Bild 356

Das Schaltzeichen für die Batterie zeigt Bild 356. Der Pluspol ist durch einen längeren, der Minuspol durch einen kürzeren, oft auch dickeren Querstrich dargestellt. Dazu werden die Polung der Batterie, also Plus und Minus, und ihre Spannung U_B in Volt angegeben. U_B bedeutet Spannung der Batterie.

U bedeutet allgemein Spannung.

Unsere Baby-Zellen von je 1,5 Volt (abgekürzt V) sind zu zwei Batterieblöcken von je 4,5 V zusammengeschaltet, deshalb geben wir die Spannung mit 4,5 V an. Wir können bei Bedarf jedoch auch 9 V Spannung abgreifen. Dann steht neben dem Schaltbild der Batterie 9 V.

Da die Stromquelle mit anderen Schaltelementen

verbunden ist, werden die Anschlußdrähte mitgezeichnet.

74. Das Aufbaubild

Das Aufbaubild zeigt, wie die Bauelemente, die zu einer Schaltung gehören, am günstigsten auf den Aufbauplatten anzuordnen sind. Zwingend vorgegeben ist nur der Platz für das IC-Modul. Es gehört in die Mitte der Aufbauplatte IC in die Steckfedern, die mit a–g und r–z gekennzeichnet sind. Ist das IC-Modul eingesteckt, werden die Steckfedern nach den Anschlüssen des IC-Moduls mit 1–14 benannt (Bild 357).

Auf den Aufbauzeichnungen sind die Anschlußleitungen, die von der Frontplatte kommen, nur durch Pfeile angedeutet. So bedeutet zum Beispiel II-11, daß die Leitung in die Steckfeder 11 auf der Aufbauplatte II gesteckt werden soll. Bei der Steckfeder 11 ist ein Pfeil, der in die Richtung zeigt, aus der die Leitung kommt (Bild 357).

Wenn von einem Bauelement in der Frontplatte, zum Beispiel einem Potentiometer, nicht alle Anschlußleitungen gebraucht werden, ist es vorteilhaft, die lose Leitung in eine unbenutzte Steckfeder zu stecken, damit sie keinen unkontrollierten Kontakt zum Beispiel mit der Frontplatte macht. Sonst funktioniert die Schaltung womöglich nicht.

Bild 357

Wenn man eine Schaltung nach dem Aufbaubild aufbaut, ist es sinnvoll, jedes eingesetzte Teil mit einem Filzstift auf dem Aufbaubild auszustreichen. Man hat dann eine Kontrolle darüber, ob man wirklich alle Teile eingesetzt hat.

Wenn eine Schaltung nicht funktioniert, liegt es meistens daran, daß Bauteile falsch eingesteckt sind.

Was sonst noch zu beachten ist, steht in dem Kapitel „Fehlersuche" auf Seite 214.

75. Dioden

Außer den beiden Leuchtdioden, die in die Frontplatte eingebaut werden, befinden sich in unserem Kasten noch zwei verschiedene Diodentypen (eine Germanium-Diode, auf Schaltbildern D_{Ge} gekennzeichnet, und zwei Silizium-Dioden, auf Schaltbildern D_{Si} gekennzeichnet), die niemals verwechselt werden dürfen.

Die Germanium-Diode 1 N 60 M (Teil 18) hat einen kleinen Glaskörper mit schwarzem Katodenring.

Die beiden Silizium-Dioden 1 N 4148 (Teil 40) haben einen noch kleineren Körper, der sehr verschieden aussehen kann: schwarzer Körper mit weißem Katodenring, gläserner Körper mit breitem, gelbem Katodenring und mehreren schmalen Ziffernringen, gläserner Körper mit schwarzem Katodenring mit dem Aufdruck 1 N 4-148.

Dioden werden wie lange Drahtbrücken (siehe auch Kapitel 62) gebogen.

Beim Anfassen einer Diode muß man aufpassen, daß der Aufdruck nicht verwischt, damit man den Katodenring auch später noch erkennen kann. Alle Dioden – auch die Leuchtdioden – müssen nämlich in einer bestimmten Richtung gepolt werden, die durch den Ring angegeben ist. Der Strom durchfließt eine Diode von der Anode zur Katode, die durch den Ring markiert ist.

Der Katodenring wiederholt sich in dem Schaltzeichen für Dioden. Für die Germanium-Diode zeigt Bild 358 oben das Aussehen, in der Mitte das Schaltzeichen und darunter die Aufbaudarstellung. Für die Silizium-Diode zeigt Bild 358 a oben das Aussehen, in der Mitte das Schaltzeichen und darunter die Aufbaudarstellung.

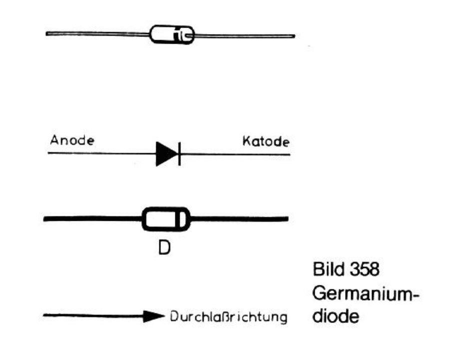


Bild 358 Germanium-diode

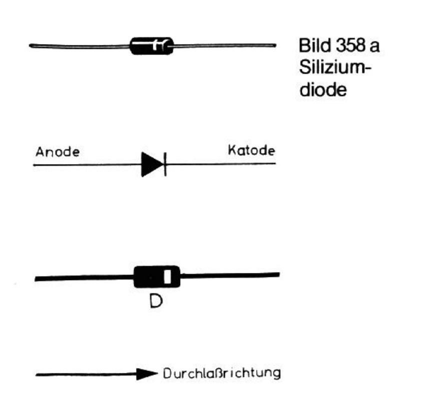
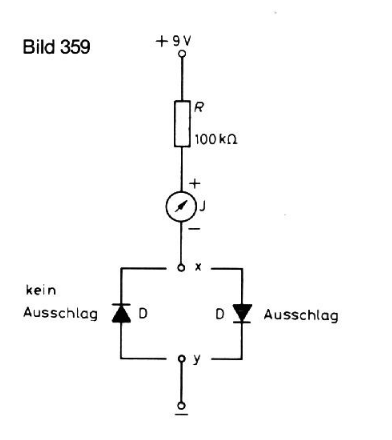


Bild 358 a
Silizium-
diode

In den Schaltzeichen gibt der Pfeil die Durchlaßrichtung an.

Mit dem Diodenprüfer (Bild 359) kann die Durchlaßrichtung mit dem Meßgerät geprüft werden. Man muß darauf achten, daß das Meßgerät richtig angeschlossen ist, weil es sonst nach der falschen Seite ausschlägt. Als Schutzwiderstand nimmt man 100 kΩ. Wenn die Diode nicht in Durchlaßrichtung gepolt ist, schlägt das Instrument nicht aus.

Bild 359



Ist die Durchlaßrichtung einwandfrei bestimmt, kennzeichnet man die Germanium-Diode mit dem Fähnchen D_{Ge} am Katodenanschluß. Auf dem Fähnchen ist der Katodenstrich eingezeichnet.

Die Silizium-Dioden werden mit den Fähnchen D_{Si} am Katodenanschluß gekennzeichnet.

Die Silizium-Dioden vertragen einen Durchlaßstrom von ca. 150 mA und eine Sperrspannung von 75 V.

Bei der sehr empfindlichen Germanium-Diode ist noch zu beachten, daß der Strom, der sie durchfließt, nur bis zu 15 mA betragen darf. Ist sie in Sperrichtung geschaltet, fließt kein Strom durch sie hindurch. Die dann zwischen ihren Anschlüssen liegende Sperrspannung darf jedoch 10–15 V nicht übersteigen, sonst schlägt sie durch.

76. Die Leuchtdioden

Die beiden Leuchtdioden (Teil 13) werden gemäß Kapitel 61.10 in die Frontplatte eingebaut. Alles was über den Anschluß von LEDs (LED = light emitting diode) gesagt werden muß, ist dort nachzulesen. Hier wollen wir nur noch einmal darauf hinweisen, daß Leuchtdioden niemals ohne Schutzwiderstand an die Batterie gelegt werden dürfen.

Auch hier fließt der Strom von der Anode zur Katode durch die Leuchtdiode hindurch. Ist die LED falsch gepolt, sperrt sie. In Durchlaßrichtung darf der Strom, der sie durchfließt, nur 50 mA betragen.

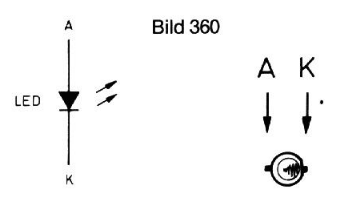


Bild 360

Die Sperrspannung darf jedoch 5 V nicht übersteigen, weil sie sonst durchschlägt.

Bild 360 zeigt links das Schaltzeichen für Leuchtdioden und rechts die Aufbaudarstellung.

77. Kondensatoren

Kondensatoren sind Ladungsspeicher. Das Fassungsvermögen eines Kondensators nennt man Kapazität, abgekürzt *C*. Je größer diese Kapazität ist, desto mehr Elektrizität kann im Kondensator gespeichert werden.

Kein Kondensator darf an eine Betriebsspannung angeschlossen werden, die höher ist als die, für die er zugelassen ist, weil er sonst zerstört wird. Auf einem Kondensator sind deshalb gewöhnlich zwei Zahlen angegeben, von denen die erste die Kapazität in Farad und die zweite die erlaubte Betriebsspannung angibt, zum Beispiel 100 µF/16 V.

Die Bezeichnung µF wird Mikrofarad gelesen. Der griechische Kleinbuchstabe µ (sprich mü) ist die Abkürzung von Mikro und F die Abkürzung für Farad.

Mikro bedeutet ein Millionstel = 0,000 001.

Es gibt noch viel kleinere Kondensatoren, deren Kapazität in Tausendstel Mikrofarad angegeben

und nF abgekürzt wird (sprich Nanofarad). Nano bedeutet Milliardstel. Ist ein Kondensator noch kleiner, so trägt er die Bezeichnung pF (sprich Pikofarad). 1 pF ist der billionste Teil von einem Farad.

1 µF hat 1000 nF
1 nF hat 1000 pF

Folgende Tabelle gibt die Vergrößerungs- und Verkleinerungsfaktoren übersichtlich wieder:

Tabelle 14: Symbole für Zehnerpotenzen beim Kondensator

1 000 000 ×		M Mega
1 000 ×		k Kilo
1 ×		– –
0,001	= 1/1 000	m Milli
0,000 001	= 1/1 000 000	µ Mikro
0,000 000 001	= 1/1 000 000 000	n Nano
0,000 000 000 001	= 1/1 000 000 000 000	p Piko

Es gibt gepolte und ungepolte Kondensatoren, die wir uns getrennt genauer betrachten wollen.

77.1 Elektrolyt-Kondensatoren

Elektrolyt-Kondensatoren oder einfach Elkos sind gepolte Kondensatoren, von denen wir vier mit verschiedenen Kapazitäten in unserem Kasten haben: Teil 20 ist ein 10-µF-Elektrolyt-Kondensator, Teil 19 ein 100-µF-Elektrolyt-Kondensator, Teil 41 ein 47-µF-Elektrolyt-Kondensator und Teil 42 ein 470-µF-Elektrolyt-Kondensator.

Leider sind die Angaben auf Kondensatoren oft nur unvollständig. Außerdem sehen Kondensatoren derselben Kapazität und Betriebsspannung oft recht unterschiedlich aus. Sie können also größer oder

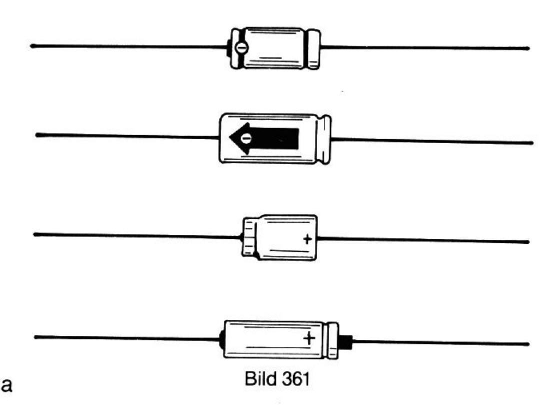


Bild 361

kleiner sein als die Elkos, die wir auf Bild 361 abgebildet haben. Auch die Kapazitätsangabe ist ganz uneinheitlich. Eines haben aber alle Elkos gemeinsam: Eine Anschlußseite ist immer mit Plus- oder Minuszeichen gekennzeichnet. Elkos dürfen nämlich nur richtig gepolt in die Schaltung eingebaut werden. Vertauscht man die Anschlüsse, so verlieren sie ihre Kapazität und gehen kaputt.

Da sich Elkos mit genauen Kapazitätswerten nur sehr schwer herstellen lassen, ergeben sich Toleranzen von −50% bis +100%.

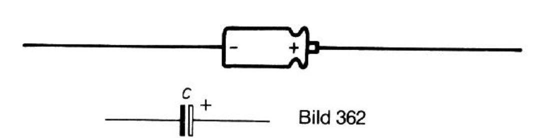


Bild 362

Elkos werden gebogen wie lange Drahtbrücken (siehe auch Kapitel 62) und gekennzeichnet mit Fähnchen vom Aufklebebogen.

Schaltzeichen und Aufbaudarstellung zeigt Bild 362.

77.2 Die übrigen Kondensatoren

Außer den vier Elkos haben wir als Teile 21 bis 26 neun weitere Kondensatoren, die wir jetzt kennenlernen wollen.

Schwierig ist es, ihren Wert abzulesen, weil es für Kondensatoren keine Norm gibt. Jeder Hersteller kann sie kennzeichnen, wie er will.

Deshalb folgt hier eine Tabelle, in der die in den Schaltungen benutzten Schreibweisen durch Fettdruck hervorgehoben sind:

Tabelle 15: Kennzeichnung der Kondensatoren

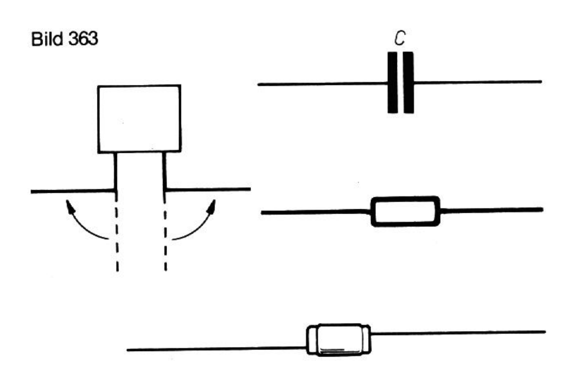
Teil						
21	0,1	µF =	**100**	**nF** =	100 000 pF
22	0,0068	µF =	**6,8**	**nF** =	6 800 pF
23	0,001	µF =	**1**	**nF** =	1 000 pF
24	0,00047	µF =	0,47	nF =	**470 pF**
25	0,00022	µF =	0,22	nF =	**220 pF**
26	0,000082	µF =	0,082	nF =	**82 pF**

Schaltzeichen, Aufbaudarstellung und Aussehen eines ungepolten Kondensators zeigt Bild 363.

Kondensatoren müssen gebogen werden wie lange Drahtbrücken (siehe auch Kapitel 62).

Bei den Kapazitätsangaben ist noch folgendes zu beachten: Der 6,8-nF-Kondensator kann statt 6,8 nF die Bezeichnung 6800 pF oder 0,0068 µF tragen. Oft werden auch die Null vor dem Komma und die Maßeinheit hinter der Zahl weggelassen oder statt des Kommas nur ein Punkt gemacht. So kann ein 220-pF-Kondensator sowohl mit 220 pF als auch mit 0,22 nF oder auch nur mit .22 beschriftet sein, der

Bild 363



100-nF-Kondensator kann die Aufdrucke 100 n oder 0,1 µF, .1 oder .1 M tragen. In seltenen Fällen ist er sogar mit der Bezeichnung 100 000 pF versehen.

Auf den Kondensatoren mit 470 pF, 220 pF und 82 pF steht gewöhnlich nur die Kapazität in Pikofarad aber ohne die Bezeichnung pF. Statt dessen folgt dem Zahlenwert ein Buchstabe, der bei manchen Firmen die Toleranzgruppe angibt. Unsere drei Kondensatoren mit der kleinsten Toleranz sind meistens mit 470 J, 220 J und 82 J beschriftet, wobei der Buchstabe J gleichbedeutend mit einer Toleranz von ± 5% ist.

Manchmal steht die Toleranzangabe als Zahl hinter einem Schrägstrich nach der Kapazitätsangabe. Ein zweiteiliger Aufdruck mit 6800/20 in der ersten und 160 V in der zweiten Zeile ist ein Kondensator mit 6800 pF und einer Toleranz von ± 20%, der bis zu 160 V Gleichspannung verträgt.

Außer den spärlichen Kapazitätsangaben sind auf Kondensatoren mehr oder weniger verschlüsselt noch weitere Angaben aufgedruckt, die jedoch im Moment uninteressant sind. Anhand der Tabelle 15 sind die Kondensatoren dieses Kastens leicht zu identifizieren, auch wenn statt µF nur uF aufgedruckt ist und die Kondensatoren anders aussehen als auf dem Einlegebild auf Seite 185.

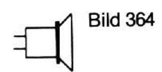
Beim Einsetzen der Kondensatoren muß die Polarität nur bei Elkos beachtet werden. Die übrigen Kondensatoren können beliebig eingesteckt werden wie die Widerstände. Manche Kondensatoren haben sehr dünne Anschlußdrähte, die sich aber gut in die Steckfedern stecken lassen, wenn sie kurz genug angefaßt werden.

Falls die Anschlußdrähte sehr lang sind, muß man sie eventuell etwas kürzen. Sie dürfen aber nie kürzer sein als die Anschlüsse der Widerstände, weil sie sonst womöglich nicht mehr in die vorgesehenen Steckfedern passen.

Beim Nachkauf achten wir darauf, daß die Kondensatoren mit dem Zusatz ± 5% in der Liste zum Einlegebild auf Seite 185 möglichst Styroflex-Isolation haben und „induktionsfrei" sind. Für die übrigen Kondensatoren ist das nicht nötig. Wo Toleranzangaben fehlen, haben die Kondensatoren Kapazitätswerte mit ± 20%. Teile, die direkt bei KOSMOS, Abt. Ersatzteile (s. dazu Seite 186), bestellt werden, haben die genannten Eigenschaften.

78. Der Lautsprecher

In die Frontplatte haben wir den Lautsprecher (Teil 1) eingebaut. Er hat einen Durchmesser von 50 mm, einen Schwingspulenwiderstand von 8 Ω und kann bis zu 200 mW belastet werden. Wenn man einen zweiten Lautsprecher zusammen mit dem eingebauten Lautsprecher betreiben will, muß


Bild 364

man darauf achten, daß der zweite mindestens ebenfalls 8 Ω hat, weil beide Lautsprecher zusammen nicht weniger als 4 Ω haben dürfen, da die Schaltung sonst Schaden nehmen kann.

Das Schaltzeichen für Lautsprecher zeigt Bild 364.

79. Potentiometer

In der Frontplatte befinden sich zwei Potentiometer (der Fachmann sagt Poti). Das eine Potentiometer (Teil 6) hat einen Widerstandswert von 10 kΩ. Die Zusatzbezeichnung lin ist die Abkürzung für linear und bedeutet, daß der Widerstandswert sich gleichmäßig ändert, wenn der Schleifer gedreht wird. Seine Kohleschicht verträgt eine Stromstärke bis zu 3 mA.

Das zweite Potentiometer (Teil 7) hat einen Widerstandswert von 100 kΩ. Die Zusatzbezeichnung pos log ist die Bezeichnung für positiv logarithmisch, was bedeutet, daß die Widerstandszunahme beim Weiterdrehen des Schleifers nicht proportional, sondern logarithmisch zum Drehwinkel zunimmt. Seine Kohlebahn verträgt nur 0,4 mA.

Bild 365 zeigt die Aufbaudarstellung für unsere Potentiometer. Die Anschlüsse n, h, s dürfen nicht ver-



Bild 365

wechselt werden, weil die Schaltungen dann nicht funktionieren können.

s bedeutet Schleifer, n bedeutet „niedrigster Skalenwert" und entspricht 0 auf der Skala, wenn der Knopf ganz nach links gedreht ist.

h bedeutet „höchster Skalenwert" und entspricht 8 auf der Skala, wenn der Knopf am rechten Anschlag steht.

Bild 366 zeigt drei Schaltzeichen, die wahlweise für unsere Potis verwendet werden. Rechtes und mittleres Schaltzeichen haben einen Schleifer s, der in

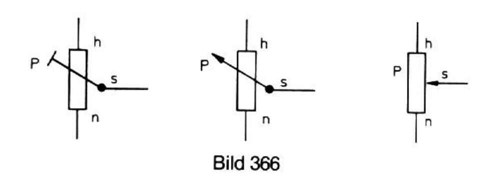


Bild 366

einen Pfeil ausläuft. Wenn das Schaltzeichen so gezeichnet ist, wird das Poti während des Betriebs von Schaltungen verstellt, zum Beispiel als Lautstärkeregler.

Links ist der Schleifer s als T-förmiger Schrägstrich eingetragen. Dieses Schaltzeichen verwendet man, wenn das Poti beim Einstellen der Schaltung einmal eingestellt und dann unverändert gelassen wird. Man spricht dann auch von einem Trimm-Potentiometer.

Gekennzeichnet sind die Schaltzeichen mit dem Widerstandswert des jeweils verwendeten Potis, also entweder mit 100 kΩ pos log oder 10 kΩ lin.

80. Meßinstrument

Das Meßinstrument (Teil 12) kann in die Frontplatte eingebaut oder in ein Seitenteil gesteckt werden, wie in Kap. 61.4 beschrieben ist.

Wichtig zu wissen sind folgende Daten, weil nur ein Meßgerät mit diesen elektrischen Eigenschaften in den Schaltungen dieses Experimentierbuchs funktioniert. Es muß 100 μA Vollausschlag und einen System-Widerstand von 1200 Ω haben.

Die Abmessungen spielen keine besondere Rolle, wenn man es nicht einbauen will. Man kann also auch ein größeres Instrument mit den genannten Daten benutzen.

Für die genaue Ablesung ist Voraussetzung, daß das Instrument in der Lage benutzt wird, für die es bestimmt ist. (Es kann zum Beispiel senkrecht, schräg stehend oder liegend geeicht sein.)

Unser Meßgerät ist von der Fabrik liegend geeicht und zeigt deshalb die genauesten Werte an, wenn es im Seitenteil steckt.

Das Schaltzeichen des Meßgeräts zeigt Bild 367. Die Aufbaudarstellung Bild 368.

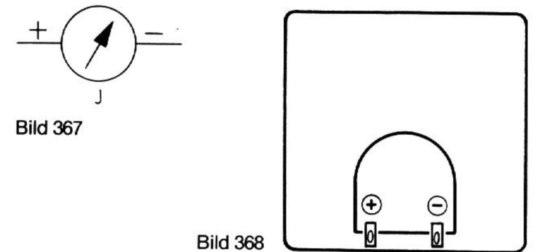


Bild 367

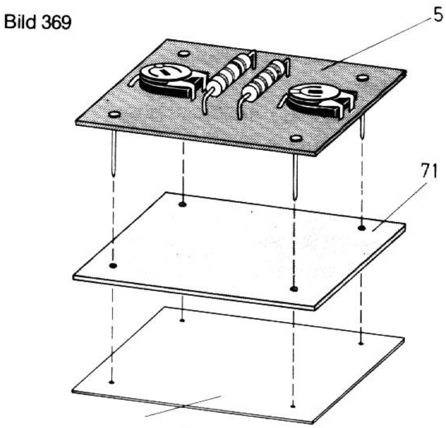
Bild 368

81. Meßplatine

Die Meßplatine (Teil 5) ist speziell für unser Meßgerät entwickelt worden. Sie dient dazu, daß das Meßinstrument als Voltmeter für Gleich- und Wechselspannung genau anzeigt.

Die Meßplatine hat zwei Widerstandstrimmer von 47 kΩ lin (linear) (P_{m1}) und 10 kΩ lin (P_{m2}) sowie zwei Festwiderstände mit 82 kΩ (R_{m1}) und 100 kΩ (R_{m2}).

Bild 369



Bevor die Meßplatine in die Aufbauplatte gesetzt wird, befestigt man die Isolierplatte (Teil 71) mit dem Etikett zur Isolierplatte unter der Platine (Bild 369). Das ist wichtig, weil die Lötstellen der gedruckten Schaltung auf der Platinenunterseite sonst mit den Steckfedern unkontrollierten Kontakt machen.

Das Schaltzeichen zeigt Bild 370, die Aufbaudarstellung Bild 371.

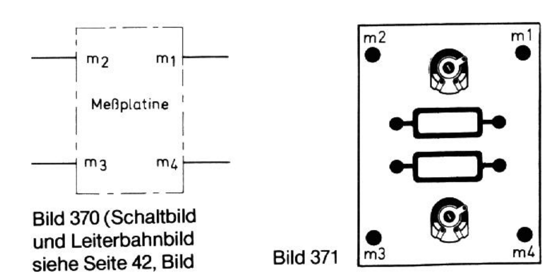


Bild 370 (Schaltbild und Leiterbahnbild siehe Seite 42, Bild 69)

Bild 371

Wir lassen die Meßplatine im Kasten liegen, bis sie im Text behandelt wird.

82. Doppel-Drehkondensator

Der Doppel-Drehkondensator (Teil 10), auch Doppeldrehko genannt, hat zwei veränderliche Kapazitäten (*C*). Wir benutzen ihn zur Frequenzänderung von Schwingkreisen.

Auf seiner Achse sitzen zwei Plattenpakete, von denen das eine, C_{D1}, beim Eindrehen eine Kapazitätszunahme von 142 pF und das andere, C_{D2}, von 59 pF hat.

Das Schaltzeichen eines Drehkos zeigt Bild 372, die Aufbaudarstellung mit Abstimmrad Bild 373.

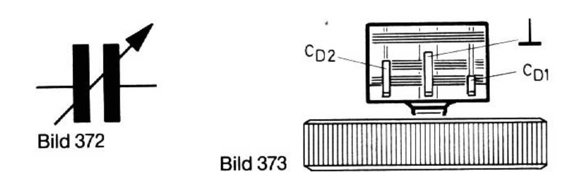


Bild 372

Bild 373

83. Das IC-Modul – Vierfach-Operationsverstärker

Teil 4 ist der Vierfach-Operationsverstärker (Bild 374). Er beinhaltet vier sogenannte Integrierte Schaltkreise, abgekürzt IC, nach dem englischen integrated circuit, und gehört, wie die Transistoren, zur Gruppe der Halbleiter-Bauelemente.

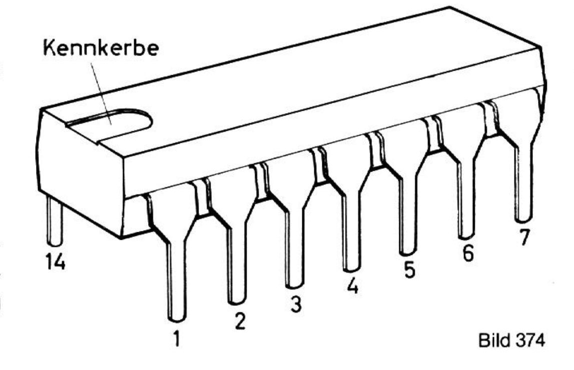


Bild 374

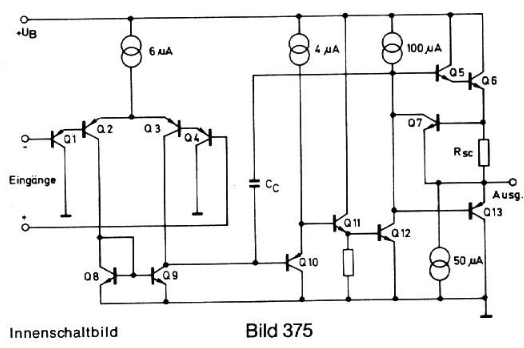
Jeder IC stellt einen kompletten Operationsverstärker dar, den man eigentlich auch in einem Einzelgehäuse hätte unterbringen können.

Diese Operationsverstärker, abgekürzt OP, können völlig unabhängig voneinander gleichzeitig in verschiedenen Schaltungen oder an ganz verschiedenen Stellen ein und derselben Schaltung eingesetzt werden.

Jeder der vier Operationsverstärker besteht aus 13 Transistor-, 4 Dioden-, 2 Widerstandsfunktionen sowie aus einer Kondensatorfunktion. Das Schaltbild für einen OP zeigt Bild 375.

Dieses „Innenleben" von OPs ist auf wenige Quadratmillimeter beschränkt. Das Gehäuse mit seinen 14 Beinen ist nur so „groß", damit die Anschlüsse vernünftig befestigt und herausgeführt werden können.

Es ist vorteilhaft, vier OPs in einem Gehäuse unterzubringen, weil man mit fast dem gleichen Aufwand an Zeit und Platz statt eines OPs gleichzeitig vier OPs herstellen kann. Außerdem spart man sechs



Innenschaltbild

Bild 375

Anschlüsse, denn die beiden Stromversorgungsanschlüsse, die jeder einzelne OP braucht, werden an nur zwei Anschlußbeinchen geführt.

Anschluß 4 ist der Plusanschluß und Anschluß 11 der Minusanschluß, die nie miteinander verwechselt werden dürfen, weil der Vierfach-Operationsverstärker sonst beschädigt werden kann.

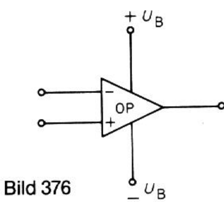


Bild 376

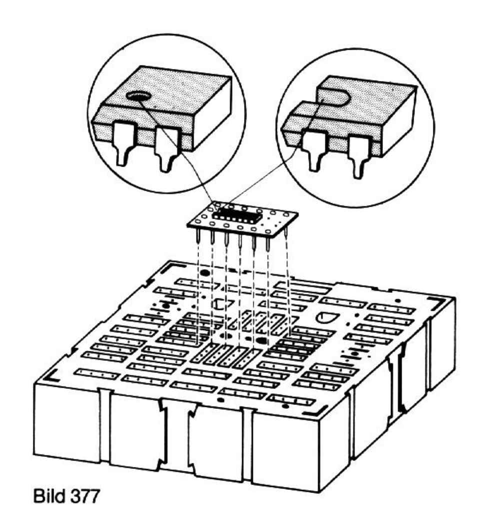


Bild 377

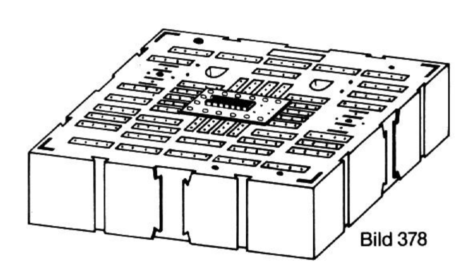


Bild 378

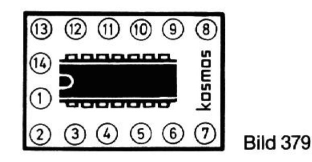


Bild 379

Bild 376 zeigt das Schaltbild unseres Vierfach-Operationsverstärkers. Weil es zu umständlich wäre, in jeder Schaltung das gesamte Innenleben darzustellen, wird jeder der vier OPs nur durch ein Dreieck mit seinen drei Anschlüssen Eingang $-e$, Eingang $+e$ und Ausgang a gezeichnet, die ihn mit der Schaltung verbinden.

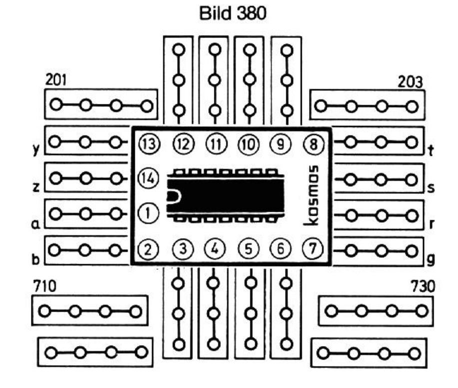
Werden in einer Schaltung mehrere OPs verwendet, so zeichnet man die Anschlüsse für die Stromversorgung $+U_B$ und $-U_B$ nur bei einem der OPs ein.

Der Vierfach-Operationsverstärker ist gesockelt auf einer gedruckten Schaltung mit Steckstiften. Dadurch passen die Anschlüsse in die mittleren Steckfedern der Aufbauplatte IC (Bild 377 und 378).

Die Aufbaudarstellung zeigt Bild 379.

Beim Einsetzen des IC-Moduls muß darauf geachtet werden, daß die Steckfedern r und s immer frei bleiben. Wird das Modul falsch eingesteckt, geht der Vierfach-Operationsverstärker womöglich kaputt. Bild 380 zeigt Lage und Bezeichnung der Anschlüsse.

Bild 380



84. KOSMOTRON ® A und KOSMODYNE ® B

Wenn man Batterien sparen will, kann man das KOSMOS-Netzgerät KOSMOTRON ® A benutzen. Dieses Netzgerät kann statt der Batterien angeschlossen werden. Es ist elektronisch stabilisiert, liefert also geglätteten Gleichstrom (bis 200 mA) mit einer Ausgangsspannung von 4,5 V und auch 9 V. Es ist absolut kurzschlußfest, das heißt, es kann beim Experimentieren durch Kurzschlüsse nicht beschädigt werden (Best. Nr. 663011).

Das KOSMOS Universal-Schaltgerät KOSMODYNE ® B ist ein Netzsteuergerät, dessen schwachstromgesteuertes Relais (magnetbetätigter Schalter) das Ein- und Ausschalten von Tonband-, Küchen- und Heizgeräten bis zu 2 kW über ferngesteuerte Schwachstromleitungen erlaubt. Es ist völlig gefahrlos, da Stark- und Schwachstromseite vollkommen voneinander getrennt sind. Man kann es überall da anschließen, wo es in den Versuchsschaltungen angegeben ist. Über das Relais schaltet man ein beliebiges Starkstromgerät, dessen Netzstecker man in die Schukodose des KOSMODYNE ® B einsteckt. So läßt sich mit dem Dämmerungsschalter (Kapitel 48) beispielsweise eine Stehlampe schalten (Best. Nr. 662511).

85. Fehlersuche

Wenn eine Schaltung überhaupt nicht gehen will, ist gewöhnlich ein Versehen beim Aufbau schuld. Die Schaltungen selbst arbeiten einwandfrei und sind schon viele tausendmal mit Erfolg aufgebaut.

() Zunächst prüfen, ob die Batterien frisch sind.

() Untersuchen, ob Dioden, LEDs und Elkos richtig gepolt sind.

() Sind die Transistoranschlüsse richtig gebogen und eingesteckt? Die Anschlüsse können auch schwarz geworden, d. h. oxydiert sein. Das kann zu schlechtem Kontakt mit anderen Metallteilen führen. Die Anschlüsse mit einem Taschentuch vorsichtig blank reiben (kein Sandpapier nehmen!).

() Leicht zu verwechseln sind die Widerstände 100 kΩ und 1 MΩ; 680 Ω und 680 kΩ; 3,3 kΩ, 330 kΩ und 22 kΩ; 82 Ω, 8,2 kΩ und 82 kΩ; 1,2 Ω (der dritte Ring ist golden), 12 Ω und 120 Ω.

() An den Anschlüssen der Widerstände können Leimrückstände vom Gurt haften, die mit dem Fingernagel abgekratzt werden müssen.

() Sind alle Drahtbrücken richtig eingesetzt? Jedes Teil, das eingesetzt ist, sollte am besten auf dem Aufbaubild durchgestrichen werden. Außerdem vergleicht man, ob alle Stecklöcher so besetzt oder frei sind wie auf dem Aufbaubild.

() Sind die Drähte in den Anschlußblechen noch intakt? Drähte können auch oxydieren, so daß sie keinen Kontakt mehr haben. Man muß sie dann gründlich säubern.

() Ob ein Teil kaputt gegangen ist, kann man mit der Schaltung prüfen, in der es zum ersten Mal verwendet wird, sofern es nicht eigene Prüfschaltungen gibt, wie zum Beispiel den Transistorprüfer (Schaltung 17.1) und den Diodenprüfer (Schaltung 16.5).

() Manche Bauteile haben überlange Anschlußdrähte, die gekürzt werden müssen. Sie stehen sonst unten lang aus den Steckfedern heraus und können sich gegenseitig berühren, was zu ganz unerwarteten Kurzschlüssen führen kann.

() Ist das IC-Modul richtig herum eingesteckt? Die Steckfedern r und s müssen frei bleiben. Zu beachten ist auch, daß der Plusanschluß von Schalter S_1 in die Steckfeder 4 auf der Aufbauplatte II und der Minusanschluß in Steckfeder 11 gesteckt werden muß.

() Anschlußlitzen, die bei einer Schaltung nicht gebraucht werden, sollten in unbenutzte Steckfedern gesteckt werden, damit sie nicht unkontrollierten Kontakt machen.

() Zu tief eingesteckte Anschlußlitzen und Verbindungsdrähte machen keinen Kontakt (Isolation nicht einstecken).

Teil V UKW-Anhang

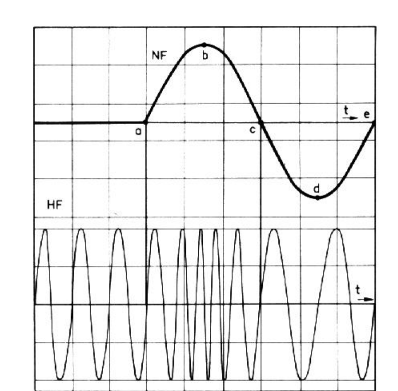
86. Versuche mit UKW-Empfang

Wir wollen nun noch einen Blick auf die UKW-FM-Technik werfen und auch zu diesem Thema eine Versuchsschaltung aufbauen.

86.1 Besonderheiten des UKW-Rundfunks

UKW heißt Ultrakurzwelle, bezeichnet also ein Frequenzband, dessen Wellenlängen kürzer sind als Kurzwellen. Der UKW-Rundfunkbereich liegt zwischen 87,5 MHz und 108 MHz, was nach Formel F 42 Wellenlängen zwischen 3,43 m und 2,78 m entspricht.

Bild 381



Die Besonderheit des UKW-Rundfunks besteht aber nicht nur in der Benutzung ultrakurzer Wellenlängen, sondern auch in einer anderen Modulationsart. Der UKW-Träger wird nicht amplitudenmoduliert, wie wir das als AM aus Kapitel 27.4 kennen, sondern frequenzmoduliert (FM), wie es Bild 381 veranschaulicht. Wir sehen, daß dabei die Frequenz des Senders im Rhythmus der NF um einen Mittelwert schwankt.

Bild 382

Mit d sind Leitungen bezeichnet, deren Anschlußpunkte besonders kritisch sind. Ganze Schaltung exakt nach Aufbaubild stecken.

86.2 Unsere UKW-FM-Versuchsschaltung

Bild 382, Seite 216, zeigt unsere UKW-FM-Empfangsversuchsschaltung. Es handelt sich um ein sogenanntes Pendelaudion mit nachgeschaltetem NF-Verstärker. Diese Schaltung arbeitet nicht sehr laut; denn sie ist die einfachste Möglichkeit, UKW-FM-Sender zu empfangen.

Der UKW-Schwingkreis ist so geschaltet, daß er bei geeigneter Stellung von P_2 rückkoppelt. Gleichzeitig mit der so erzeugten UKW-Schwingung entsteht in der ersten Stufe noch eine dicht über der Hörbarkeitsgrenze liegende NF, in deren Rhythmus die UKW-Schwingung immer wieder unterbrochen wird und neu einsetzt, so daß man von einer Pendelrückkopplung spricht. Die Kapazität der Kondensatoren C_1/C_2 geht also sowohl in die Frequenz des LC-UKW-Schwingkreises ein als auch in die Frequenz des RC-Generators, dessen R der R_1 ist.

Weil die Rückkopplung dicht vor ihrem Einsatz den UKW-Kreis völlig entdämpft, werden die Flanken der Resonanzkurve des Schwingkreises so steil, daß sich Frequenzschwankungen des empfangenen Senders als Änderungen des Schwingkreis-Resonanzwiderstandes manifestieren können. Dadurch ändert sich die Verstärkung der Stufe im Takte der NF-Modulation, und es ergibt sich die sogenannte Flankendemodulation. Die NF wird dann über eine Drosselspule, die die HF zurückhält, dem NF-Verstärker zugeführt.

86.3 Hinweise zum Aufbau

Wir beginnen mit der Herstellung des Spulenkörpers aus einer Postkarte. Die Maße hierzu entnehmen wir Bild 383. Der Körper wird in gewohnter

Bild 383

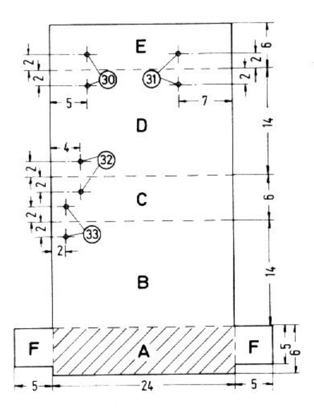
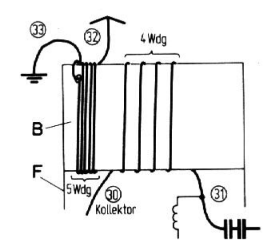


Bild 384



Weise gefaltet, und Fläche A wird innen auf Fläche E geklebt.

Bild 384 zeigt die Bewicklung mit Wicklungsdraht schematisch. Die 4 Windungen der UKW-Spule müssen gleichmäßig weit gewickelt sein, sonst gibt es später beim Einstellen eines Senders Schwierigkeiten. Die 5 Windungen der Antennenspule werden dagegen eng gewickelt.

Die Spulenanschlüsse 30 und 31 machen wir nur so lang, daß sie sich gut einstecken lassen. Sind sie zu lang, vergrößern sie die Induktivität der Spule unzulässig.

Die Lappen F werden nach dem Wickeln der Spule als Steckfüßchen umgeklappt und in die Schlitze von I-59 und I-79 gesteckt. Dabei muß die weit gewickelte Spule zum Plattenrand hin liegen.

Anordnung der Teile und Verdrahtung müssen exakt dem Bild 385, Seite 218, entsprechen. Als Drossel mit den Anschlüssen 7 und 8 wird die Schwebungssummer-Luftspule (ohne Ferritstab) verwendet. Sie muß wie auf dem Bild quer zur UKW-Spule angeordnet sein und wird deshalb in die Ausnehmung des Seitenteils A gesteckt, wie wir es früher mit der Kurzwellenspule (Bild 185) gemacht haben.

86.4 UKW-Versuchsdurchführung

Achtung! Wir dürfen Rundfunkempfänger nur in Betrieb nehmen, wenn im Haushalt eine gültige Rundfunkempfangsgenehmigung für Tonrundfunk vorhanden ist!

Als Antenne und Erde verwenden wir nur die in Kapitel 70 beschriebene Anordnung. Unseren UKW-Versuchsaufbau dürfen wir niemals an eine Gemeinschaftsantenne anschließen, damit die Oberwellen der Pendelfrequenz nicht in andere Rundfunk- oder Fernsehgeräte eindringen und dort stören können!

Die Empfangsversuche führen wir wie folgt durch:

1) Antenne und Erde anschließen, Ferritstab bereitlegen, aber noch nicht in die Spule stecken.

2) Gerät mit S_1 einschalten.

3) Lautstärkeregler P_1 auf Mittelstellung drehen (und dort stehen lassen, bis etwas anderes gesagt wird).

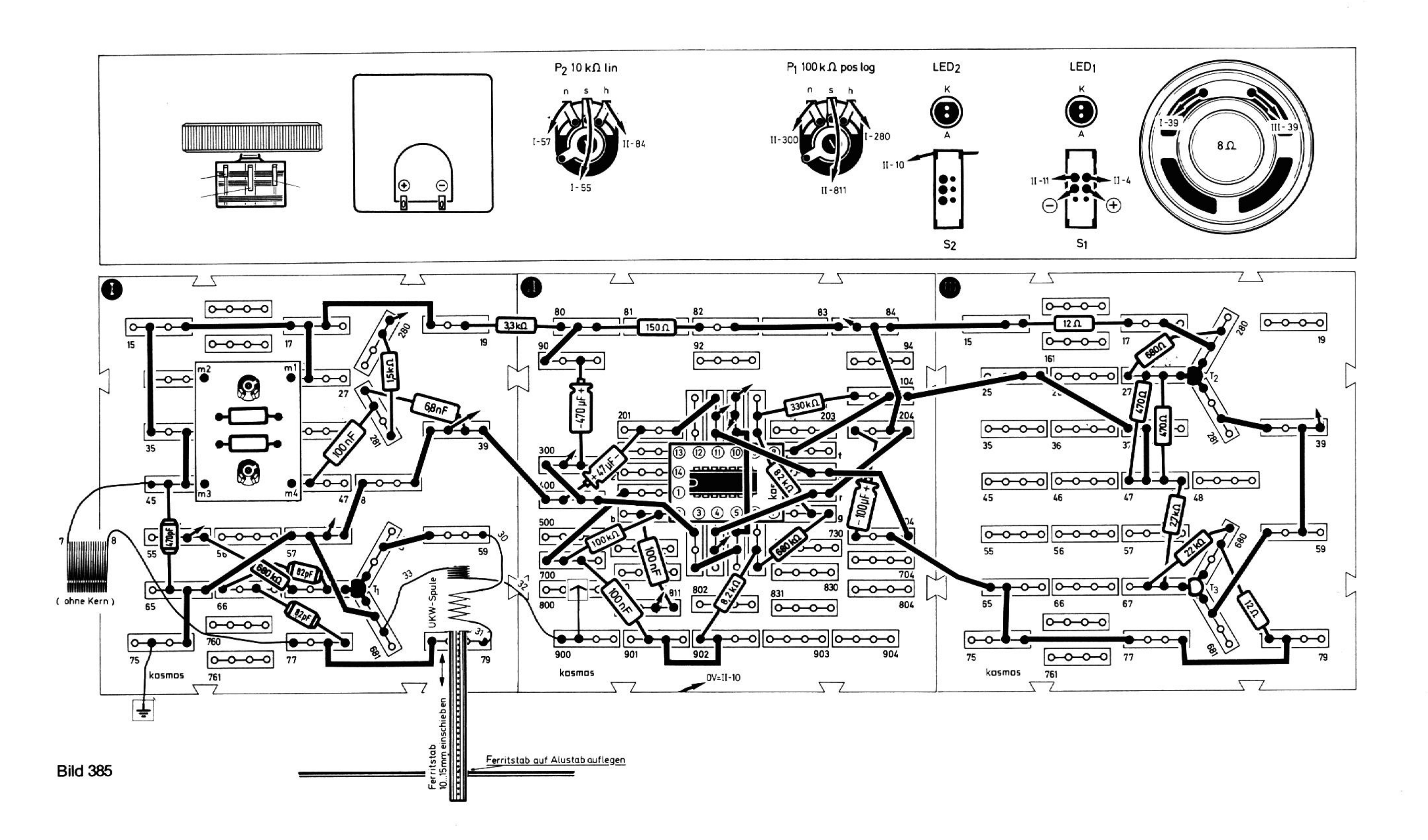


Bild 385

4) Pendeleinsatzregler P_2 ganz nach links drehen. Es ist ein ganz leises Rauschen zu hören.

5) P_2 nun so verstellen, daß das Rauschen am lautesten zu hören ist.

6) Ferritstab vorsichtig ca. 2 mm in die UKW-Spule stecken. Sein freies Ende soll auf dem Aluminiumstab über den Batterien aufliegen.

7) Ferritstab nun millimeterweise langsam und vorsichtig weiter in die UKW-Spule einschieben, bis das Rauschen aussetzt.

8) Jetzt P_2 so weit nach links drehen, daß das Rauschen gerade wieder einsetzt.

9) Ferritstab nun langsam und vorsichtig hin und her verschieben, bis ein UKW-Sender empfangen wird. Ferritstab dabei ganz feinfühlig verschieben, da die UKW-Sender sehr schmal liegen (mehrere auf einem Millimeter).

10) Punkte 3 bis 9 mehrmals wiederholen, um ein gewisses Feingefühl für die Einstellung zu erlangen.

11) P_2 gleichzeitig mit Ferritstab-Verschieben verstellen, um den empfangenen Sender möglichst verzerrungsfrei zu empfangen. Manchmal kann die beste Empfangsstellung von P_2 nicht durch Rechtsdrehen von P_2 gefunden werden, sondern erst, wenn P_2 weit nach rechts gedreht wurde und dann nach links gedreht wird (sogenanntes „Ziehen").

12) Lautstärke mit P_1 etwas nachstellen, aber nur so, daß kein Verzerren oder Pfeifen auftritt. Zu weit rechts wird der Empfang nicht mehr lauter, sondern nur schlechter (Verzerren).

Das Einstellen des UKW-Empfangsbereiches läßt sich erleichtern, wenn wir die Oberkante des Ferritstabes weiß anmalen (z. B. mit Tipp-Ex fluid) und dann vom einen Ende aus gemessen zwischen 10 mm und 14 mm eine rote Marke aufmalen. Die Marke liegt natürlich nur dann richtig, wenn die Spule exakt gewickelt wurde.

Abschließend versuchen wir, ob ein Tauschen der Transistoren T_1 und T_2 noch eine Empfangsverbesserung bringt. Auch das Verkürzen der Antenne oder das Einstecken eines kürzeren Drahtes als Antenne kann in extremen Empfangslagen den Empfang verbessern, desgleichen Tauschen von Erde und Antenne bzw. Auslegen der Antenne in eine andere Richtung.

Sachregister

Kosmos Oszilloskop

Das unentbehrliche Arbeitsgerät für jeden ernsthaften Elektroniker!

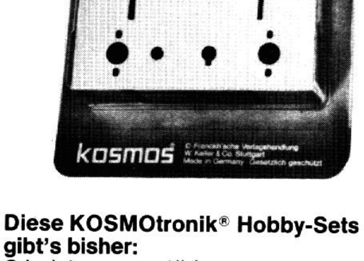
Im Hobby- und Spielwarenhandel erhältlich!

Bestell-Nr. 614911

Ein Oszilloskop macht die unsichtbaren Vorgänge in elektronischen und elektrischen Schaltungen auf einem Bildschirm sichtbar. Es ist zum Messen, Prüfen, Fehlerfinden und zum tieferen Verständnis der Elekronik wie kein anderes Gerät geeignet. Mit dem beigegebenen Bausatz „Funktionsgenerator“ können Bedienung und Funktion des Oszilloskops besonders einfach und instruktiv dargestellt werden. Die Anleitung gibt Einblick in die Oszilloskopie und die elektronische Meßtechnik sowie konkrete Hinweise, wie Schaltungen und Geräte aus KOSMOS-Kästen meßtechnisch erfaßt werden können.

„KOSMOS Oszilloskop“ enthält: das robuste KOSMOS-Oszilloskop mit 7,5 cm Bilddiagonale – eine ausführliche Anleitung in die Meß- und Oszilloskopietechnik – einen Funktionsgeneratorbausatz mit Vierfach-Operationsverstärker zum raschen Zusammenstecken von wichtigen Schaltungen (Rechteck-, Sinus-, Dreieck-Erzeugung, Schaltungen zur Kennliniendarstellung von Transistoren usw.). Erweiterung des Oszilloskops auf Zweistrahlbetrieb mit den vorhandenen Bauteilen ist möglich.

KOSMOtronik® Hobby-Set



Die Sets enthalten ausführliche, narrensichere Anleitungen und viele wertvolle elektronische Bauteile. Das Erfolgsrezept der KOSMOtronik®-Hobby-Sets liegt auf der Hand: Schritt für Schritt die Bauteile nach der ausführlichen Anleitung vorbereiten und einstecken, einschalten – fertig! Und wer den Reizen der Elektronik weiter auf der Spur bleiben will, kann aus mehreren Hobby-Sets sogar ganze Anlagen bauen.

Denn KOSMOtronik®-Hobby-Sets sind untereinander zusammenschaltbar und kombinierbar. Da kann manches Problem in Haus, Hof und Garten ganz einfach elektronisch gelöst werden: von der Heizungsregelung für's Aquarium bis zur raffinierten, automatischen Rasengießanlage ist alles drin.

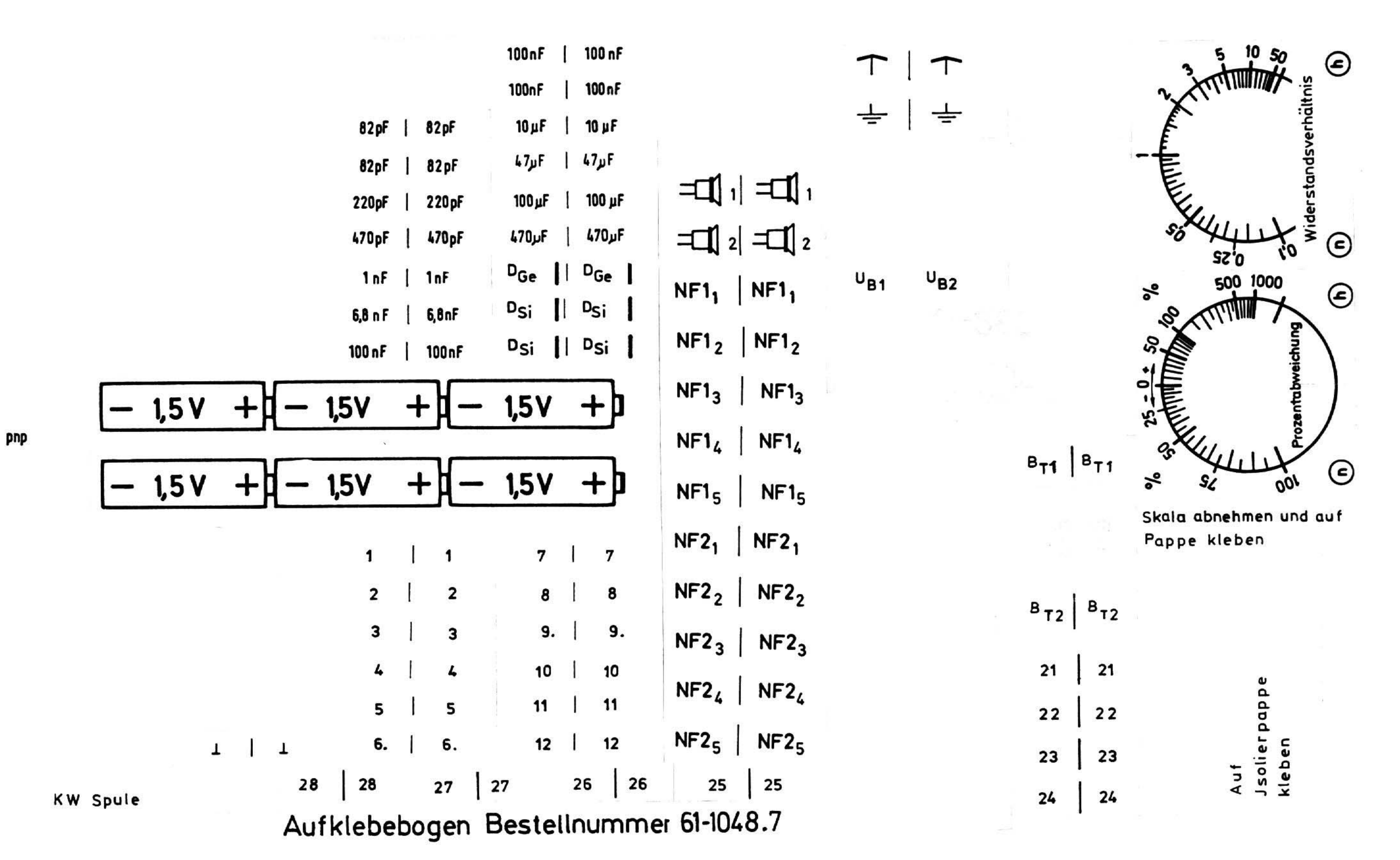
Die Reihe wird fortgesetzt.

Informieren Sie sich über die tollen Möglichkeiten bei Ihrem Hobby- und Spielwarenhändler oder direkt beim Verlag.

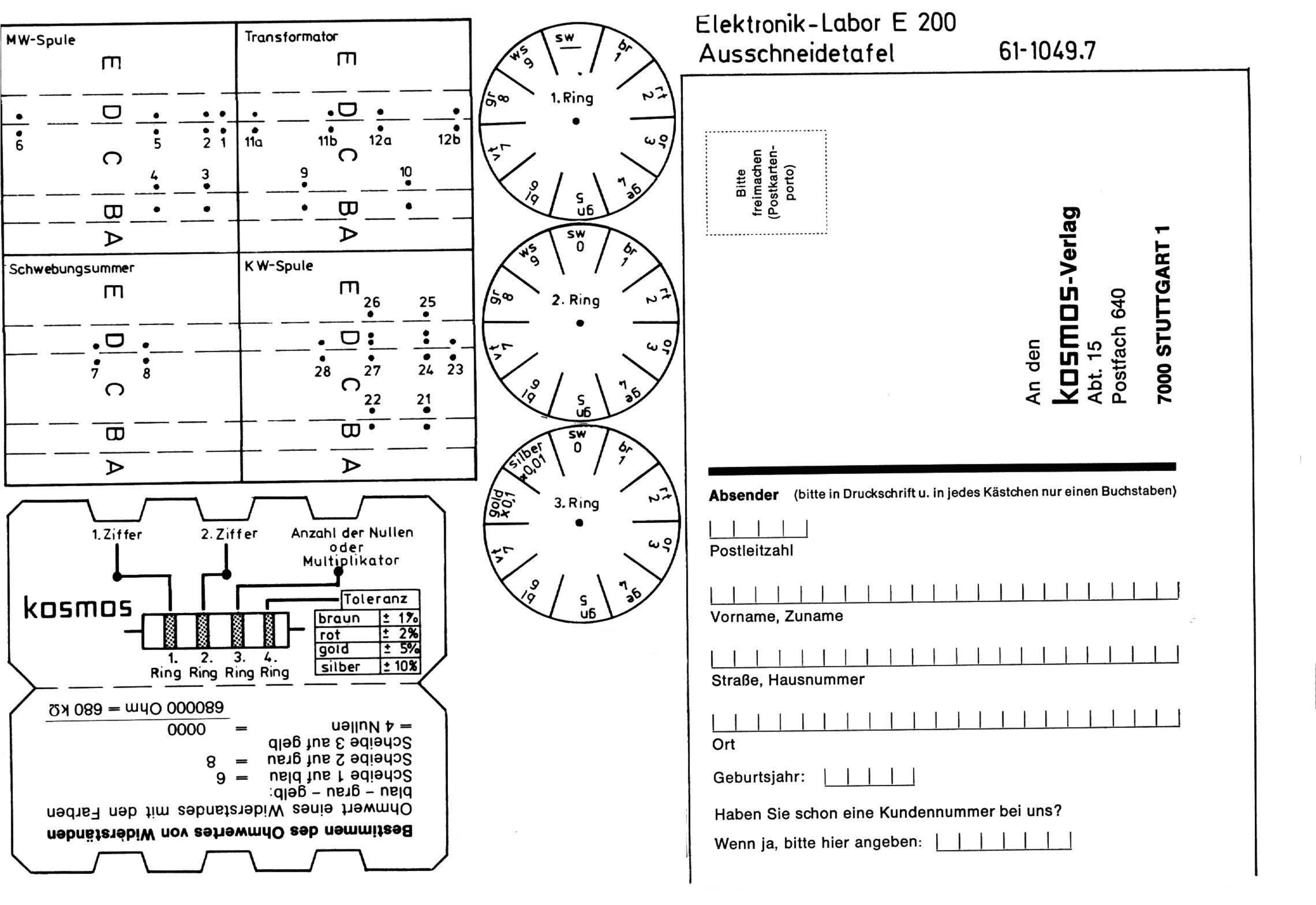
Diese KOSMOtronik® Hobby-Sets gibt's bisher:

- Leistungsverstärker
- Schalten mit Temperatur
- Alarmanlage
- Feuchtigkeitsmelder
- Mittelwellen-Empfänger
- Universaltimer
- Warnblinker
- Schalten mit Licht
- Schalten mit Schall
- Elektronische Klangerzeugung
- Kurzwellen-Empfänger
- Telefon-Mithörverstärker
- Power-Verstärker

Elektronik-Labor E 200



Aufklebebogen Bestellnummer 61-1048.7


Elektronik-Labor E 200
Ausschneidetafel
61-1049.7
MW-Spule
E D C B A
6 5 2 1 4 3
Transformator
E D C B A
11a 11b 12a 12b 9 10
Schwebungsummer
E D C B A
7 8
KW-Spule
E D C B A
26 25 28 27 24 23 22 21
1. Ring
2. Ring
3. Ring
sw 0
br 1
rt 2
or 3
ge 4
gn 5
bl 6
vi 7
gr 8
ws 9
silber ×0,01
gold ×0,1
1. Ziffer
2. Ziffer
Anzahl der Nullen oder Multiplikator
kosmos
Toleranz
braun ± 1%
rot ± 2%
gold ± 5%
silber ± 10%
1. Ring 2. Ring 3. Ring 4. Ring
Bestimmen des Ohmwertes von Widerständen
Ohmwert eines Widerstandes mit den Farben
blau – grau – gelb:
Scheibe 1 auf blau = 6
Scheibe 2 auf grau = 8
Scheibe 3 auf gelb
= 4 Nullen = 0000
680000 Ohm = 680 kΩ
Bitte freimachen (Postkartenporto)
An den
KOSMOS-Verlag
Abt. 15
Postfach 640
7000 STUTTGART 1
Absender (bitte in Druckschrift u. in jedes Kästchen nur einen Buchstaben)
Postleitzahl
Vorname, Zuname
Straße, Hausnummer
Ort
Geburtsjahr:
Haben Sie schon eine Kundennummer bei uns?
Wenn ja, bitte hier angeben:

Zusammenbau des Widerstandsrechners

Nach dem Ausschneiden gestrichelte Linie leicht anritzen und zusammenfalten.
Die drei Punkte mit einer Stecknadel durchstechen.
Scheiben 1, 2, 3 ausschneiden und mit Farbstiften die entsprechenden Farben aufmalen (sw = schwarz, br = braun, rt = rot, ge = gelb, gn = grün, bl = blau, vt = violett, gr = grau, ws = weiß) (oder Kreise von der letzten Umschlagseite ausschneiden und auf die Scheiben kleben).
Scheibenpunkte mit Stecknadel durchstechen.
Verbindungsdraht ca. 2 cm lang abisolieren und drei 5 mm lange Drahtstücke abschneiden.
Scheiben 1, 2, 3 einlegen; Drahtstücke durchstecken, umbiegen und mit Tesafilm hinten und vorn festkleben.

Diese Karte fand ich in dem KOSMOS-Experimentierkasten:

....

Dieser Kasten wurde
- ○ von mir selbst gekauft,
- ○ mir geschenkt.

Ich besaß vorher
- ○ noch keinen,
- ○ schon einen,
- ○ schon mehrere KOSMOS-Kästen.

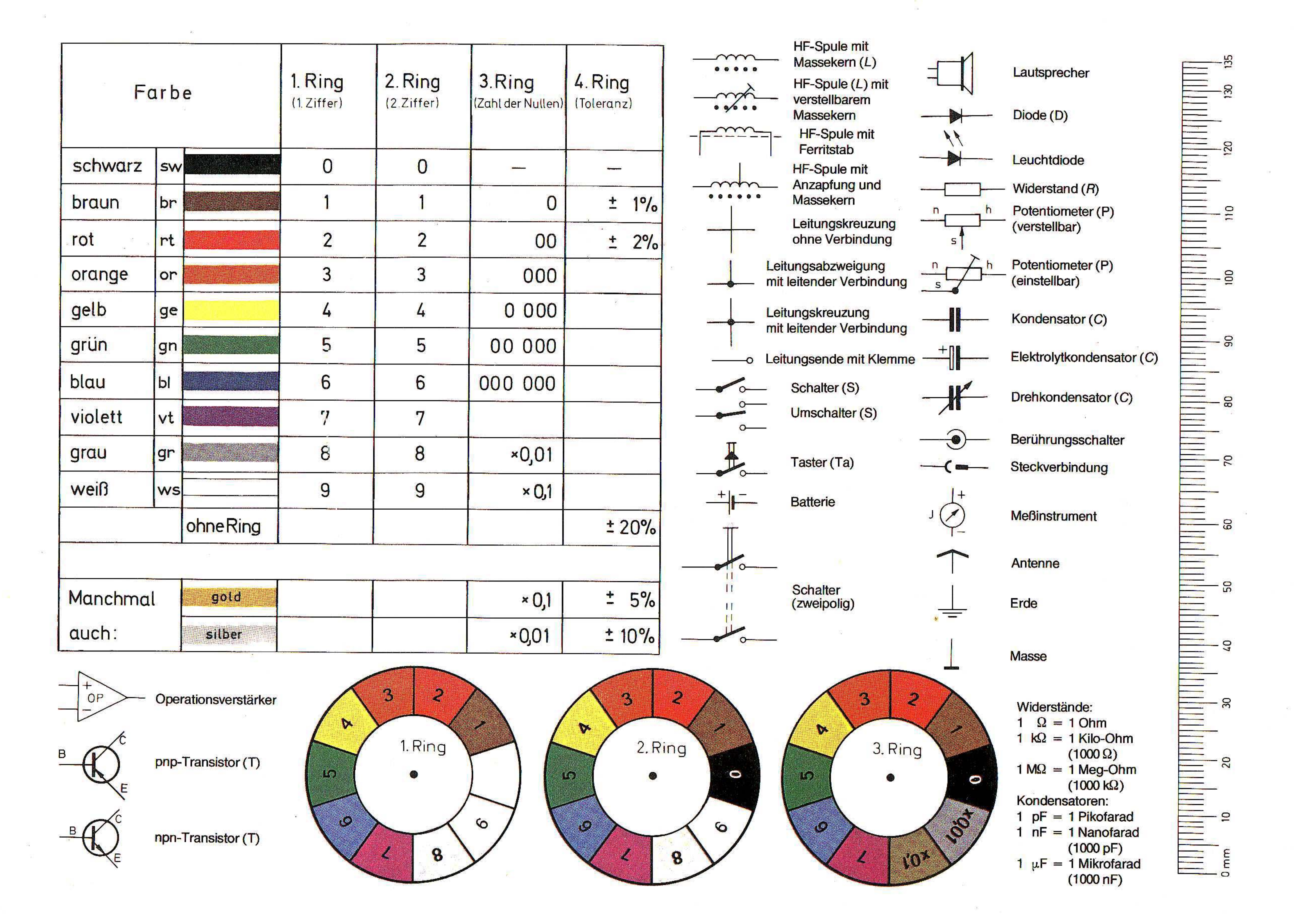
Ich hatte vorher
- ○ schon von KOSMOS gehört,
- ○ noch nie von KOSMOS gehört.

Mich interessiert an KOSMOS-Kästen
- ○ das Spiel
- ○ die Ergänzung zum Schulstoff
- ○ das Experimentieren als Hobby
- ○ oder, daß man ....

....

....

- ○ Astronomie 0
- ○ Bücher für Naturfreunde 1
- ○ Geologie, Mineralogie, Paläontologie . . 2
- ○ Vogelkunde 3
- ○ Mikroskopie 8
- ○ Aquarium, Terrarium 9
- ○ Hunde . . . . B
- ○ Katzen C
- ○ Tauchen . . . . E
- ○ Technik, Experimentierkästen . . . . . G
- ○ Fliegen . . . . H
- ○ Straßenbahn L
- ○ Elektronik . . . . M
- ○ Physik . . . . N
- ○ Chemie . . . . O
- ○ Pferde und Reiter . . . . P
- ○ Eisenbahn . . . . Q
- ○ Geistessport, Schach . . . . R
- ○ Sport . . . . S
- ○ Hauswirtschaft . . . . T
- ○ Spielen . . . . U
- ○ Jugendbücher V
- ○ Hitchcock, Jugendkrimis . . . . W
- ○ Basteln X
- ○ Blumen, Garten . . . . Y
- ○ Probeheft KOSMOS 1
- ○ Probeheft Mineralien-Magazin 2
- ○ Probeheft Aquarien-Magazin 9
- ○ Probeheft Straßenbahn-Magazin L
- ○ Probeheft Lok-Magazin . . . . Q



Farbe			1. Ring (1. Ziffer)	2. Ring (2. Ziffer)	3. Ring (Zahl der Nullen)	4. Ring (Toleranz)
schwarz	sw		0	0	—	—
braun	br		1	1	0	± 1%
rot	rt		2	2	00	± 2%
orange	or		3	3	000	
gelb	ge		4	4	0 000	
grün	gn		5	5	00 000	
blau	bl		6	6	000 000	
violett	vt		7	7		
grau	gr		8	8	×0,01	
weiß	ws		9	9	×0,1	
		ohne Ring				± 20%
Manchmal auch:		gold			×0,1	± 5%
		silber			×0,01	± 10%